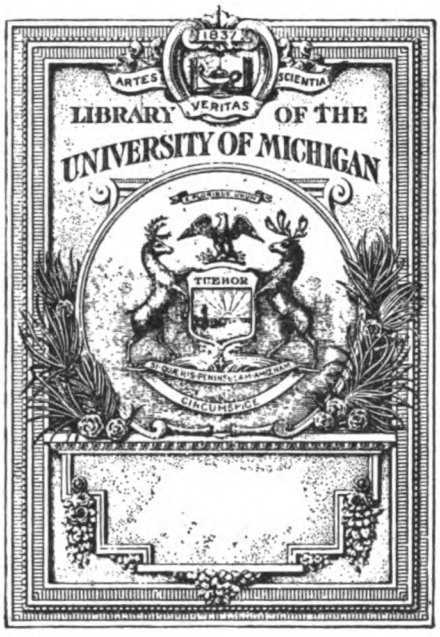
B 1,066,021


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TIBHOR
CIRCUMSPICE

Q
184
.Z4

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
R. Straubel in Jena, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Professor Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang 1921.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1921.

Seattle.
8-29-1922
Gen.

APR 6 1921

GENERAL LIBRARY
APR -5 19
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ
für
Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
V. v. Lang in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

1. Heft: Januar.

Inhalt:

W. Sander, Der v. Orel-Zeißische Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung S. 1.
Referate: Eine neue Methode und ein neues Gerät zur Konstruktion von Perspektiven S. 28. — Verbesserungen in der Sphärometrie S. 28. — Eine neue Vorrichtung zum Farbenausgleich bei photometrischen Messungen S. 29. — Eine Methode zur Messung der Kapazität von Goldblatt-Elektroskopen S. 31. — Über den Einfluß horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallsignalen S. 32.

ace 7/7/21

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Ich suche zu kaufen:

1 Expl. Zeitschr. für Instrumentenkunde 1911/12.

Angebote erbittet [6130]

O. Zehrfeld, Leipzig, Göschenstr. 1.

Jahrgang 1900, 1911/1912

dieser Zeitschrift

zu kaufen gesucht.

Angebote unter **Ikde 6127** durch die Expedition dieses Blattes. [6127]

Präzisionsoptik

Objektive und Okularlinsen

Prismen, Dachprismen, Sextantspiegel, Planparallelplatten. Versilberung optischer Gläser 96,1% Refl. lt. Prüfung d. Reichsanstalt, Oberflächenspiegel, Fadenkreuze, Mikrometer, Netzteilungen

J. D. Möller, Wedel b. Hamburg

Gegründet 1864

Patentanwalt A. Kuhn, Dipl. Ing. BERLIN SW 61 Gitschinerstr. 106

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,

RATHENOW a. H.

Wir suchen zum sofortigen Eintritt einen [6126] selbständigen

Konstrukteur

für geodätische Instrumente, welcher auf diesem Gebiet über langjährige Erfahrungen bei ersten Firmen verfügt und über die letzten Verbesserungen, die auf den Markt gekommen sind, eingehend unterrichtet ist. Ausführl. Bewerbungsschreiben unter Beifügung von Zeugnisabschriften und Lichtbild erbeten unter **M. R. 1983** an **Rudolf Mosse, München.**

Komplette Einrichtungen mit allem Zubehör

für

Glasbläsereien, -teilereien, -schleifereien, für Instrumentenfabriken u. Laboratorien

liefern

GOTTHOLD KÖCHERT & SÖHNE, ILMENAU 4, Thür.

[6108] **Spezialfabrik**

für Maschinen und Apparate für Glasbearbeitung

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung. Von W. Sander 1. 33. 65

Neue Form einer Kupplung für Fernrohr-Triebwerke mit unmittelbarem elektromotorischen Antrieb. Von J. Rheden 86

Ein hochempfindliches astatisches Torsionsmagnetometer. Von R. Dieterle 89

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1920 . . . . . 97. 129. 161

Beiträge zur Geschichte und zur geometrischen Optik des Umkehrsystems mit veränderlicher Vergrößerung. Von H. Erfle 107

Zur Beseitigung des Astigmatismus beim Gebrauch des Hohlgitters. Von P. H. van Cittert. 116

Zur Theorie der Polarisationsprismen. VI. Schnittwinkel und Gesichtsfelder für Prismen, bei denen die Kristallachse im Hauptschnitt liegt. Von H. Schulz 118

Über eine Methode, die optischen Abbildungsgleichungen zu praktischen Durchrechnungsformeln umzugestalten. Von M. Lange 121

Zur Theorie der Polarisationsprismen. VII. Die Bestimmung der Gesichtsfeldgröße und ihrer Schwankungen. Von H. Schulz 144

Eine Methode zur Prüfung von photographischen Objektiven durch streifende Abbildung. Von A. Wetthauer 148

Organische Flüssigkeiten zum Füllen hochgradiger Fabrikthermometer. Von G. Moeller . . 152

Die photographisch registrierende Eötvössche Torsionswage der Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau. Von W. Schweydar 175

Ein Apparat zur Bestimmung der sphärischen und der chromatischen Aberration von Objektiven nach der Foucaultschen Messerschneidenmethode. Von A. Wetthauer 184

Eine einfache Registriervorrichtung für das Zöllnersche Photometer. Von K. Schiller . . 187

Über zwei astronomische arabische Instrumente. Von J. Frank 193

Die Belichtungsvorgänge und das Auflösungsvermögen beim Hochfrequenz-Kinematographen. Von A. Klughardt 201

Berechnung der Medial-Fernrohre mit einfacher Spiegellinse. Von L. Schupmann † . . . 212

Astigmatismus aplanatischer Linsen. Von H. Harting 219

Vorrichtungen zur Teilung von Kreisen und Geraden usw. nach Bîrûnî. Von E. Wiedemann und J. Frank 225

Kreisteilungen und Kreisteilmaschinen. Von A. Fennel 236

Muß bei ballistischen Eichspulen auf die magnetische Schirmwirkung Rücksicht genommen werden? Von H. Greinacher 240

Über Spektralapparate und Monochromatoren für Untersuchungen im sichtbaren und U.-V.-Gebiet. Von Carl Leiss 242

Mechanische Einrichtung und Gebrauch der Medial-Fernrohre mit einfachem Spiegel. Von L. Schupmann † 253

Zwölf oder neun Fehler fünfter Ordnung bei Linsenfolgen mit Rotationsflächen, die zu einer Achse symmetrisch liegen? Von A. Sonnefeld 259

Ermittelung der Punktlage bei stereophotogrammetrischen Aufnahmen mit horizontaler Kamera-Achsen. Von H. Lüscher 262

Bambergscher Registrier-Theodolit. Von H. Fuß 281

Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel. Von A. Kerber † 289. 324. 337

Untersuchung über die Feinbewegung an einigen Mikroskopen. Von H. Boas 299

Über eine Neukonstruktion des registrierenden Mikrophotometers. Von F. Goos. Mit einer Vorbemerkung von P. P. Koch 313

406075

Seite

Über einige Verbesserungen des Kartierungsverfahrens bei stereophotogrammetrischen Arbeiten. Von C. Pulfrich 348
Über Messungen an einem Zwei-Pendel-Apparat. Von R. Schumann 352
Nivellierstab. Von P. Werkmeister 355

Referate.

Eine neue Methode und ein neues Gerät zur Konstruktion von Perspektiven 28
Verbesserungen in der Sphärometrie 28
Eine neue Vorrichtung zum Farbenausgleich bei photometrischen Messungen 29
Eine Methode zur Messung der Kapazität von Goldblatt-Elektroskopen 31
Über den Einfluß horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallsignalen 32
Verallgemeinerung der Abbeschen Sinusbedingung (als Bedingung für das Verschwinden der Koma in der unmittelbaren Nachbarschaft der Achse) für Systeme mit nicht gehobener Längenaberration. — Isoplanatische Korrektion und Proportionalitäts-Bedingung (zur Bedeutung der Abbeschen Sinusbedingung bei sphärisch nicht korrigierten Systemen endlicher Öffnung) 60
Über die durch ein Drehkeilpaar erzeugte Ablenkung und über eine als Kennzeichen für die Beibehaltung des Hauptschnittes dienende Sinusbedingung 62
Über den Unterschied zwischen den Okularen von Huyghens und denen von Ramsden und über die Abhängigkeit der Brennweite solcher Okulare von der Wellenlänge 63
Die Entwicklung des Sehrohres für Tauchboote 63
Spiegelablesung für große Ausschläge 63
Das Grundgesetz für die treue photographische Wiedergabe von Kontrasten 92
Über eine neue, selbsttätige Temperaturreglung für elektrische Öfen 92
Über die Abhängigkeit des Temperaturkoeffizienten permanenter Magnete von deren Gestalt 93
Über asphärische Flächen in optischen Instrumenten 123
Einige Versuche und Bemerkungen zur Farbenlehre. Zur Kenntnis des Purkinjeschen Phänomens 125
Das Graukeilphotometer im Dienste der Pflanzenkultur 127
Über den Wert extrafokaler Aufnahmen mit parabolischen Spiegeln 156
Über terrestrische Refraktion 157
Bestimmung der Dicke der Ölschicht bei Lagern 157
Ausdehnbarkeit und Thermoelastizität der Nickelstahle. (Die Elinvar-Spiralfeder) 158
Der „Autoreducteur“ von Leemann-Kern 189
Hensoldts Kreuzvisier 190
Der Kreiselkompaß im Schachtbau 191
Coradis Polarkoordinatograph 273
Die Zerstreuung des Lichts in den brechenden Medien des Auges 274
Auszugsberichte des Nela Research Laboratory 274
Konstante hochohmige Meß- und Belastungswiderstände 276
Die Ursache der Unbeständigkeit der Nickelstähle 277
Beiträge zur Erfindungsgeschichte meteorologischer Instrumente 304
Der „Einheitskompaß“ von Breithaupt 304
Raumwinkel- und Lichtstromkugel nach Teichmüller und neuere Ausführungsformen 305
Eine neue Art von Widerständen hoher Ohmzahl 308
Ein absolutes Voltmeter für 250000 Volt Effektivspannung 309
Über eine graphische Tafel der Luftdichten 311
Neuerung an Planimetern 358
Die Entspannungstemperatur des Glases 358
Ein neues Vakuummanometer 360
Die Verflüssigung des Glases 360
Ein Mikro-Voltameter 361

Bücherbesprechungen.

Seite

K. Fajans, Radioaktivität und die neuste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen . . . 64
H. Schulz, Die Polarisationsapparate und ihre Verwendung . . . 64
H. Lehmann, Die Kinematographie . . . 128
W. Demuth, Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik . . . 128
G. Berndt, Kompendium der Experimentalphysik . . . 158
Curt Sachs, Handbuch der Musikinstrumentenkunde . . . 158
M. v. Rohr, Die binokularen Instrumente . . . 158
F. Paul Liesegang, Wissenschaftliche Kinematographie . . . 159
Hager-Mez, Das Mikroskop und seine Anwendung . . . 160
G. Berndt, Radioaktive Leuchtfarben . . . 160
H. Geiger und W. Makower, Meßmethoden auf dem Gebiet der Radioaktivität . . . 160
W. v. Krukowski, Vorgänge in der Scheibe eines Induktionszählers und der Wechselstromkompensator als Hilfsmittel zu deren Erforschung . . . 160
R. Hugershoff und H. Cranz, Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen . . 222
C. Pulfrich, Über Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen und die ihr dienenden Instrumente 224
Rein-Wirtz, Radiotelegraphisches Praktikum . . . 251
Arthur Haas, Einführung in die theoretische Physik mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme . . . 252
Albert Einstein, Äther und Relativitätstheorie . . . 252
G. Berndt, Physikalisches Wörterbuch . . . 278
G. v. Hanffstengel, Technisches Denken und Schaffen . . . 278
M. Zeller, Ein neuer Distanzmesser für topographische Aufnahmen . . . 278
M. v. Rohr, *Geometrical Investigation of the Formation of Images in Optical Instruments* . 279
Rudolf Krause, Messungen an elektrischen Maschinen . . . 280
W. Skirl, Meßgeräte und Schaltungen für Wechselstrom-Leistungsmessungen . . . 280
Astronomie (Teil III, Abt. III, Bd. 3 der „Kultur der Gegenwart") . . . 311
A. Marcuse, Astronomie und ihre Bedeutung für das praktische Leben . . . 312
J. Möller, Nautik . . . 312
R. Börnstein, Sichtbare und unsichtbare Strahlen . . . 312
L. Grebe, Spektroskopie . . . 312
Max Born, Die Relativitätstheorie Einsteins . . . 333
R. Greeff, Die Erfindung der Augengläser . . . 333
A. Hay, Sehen und Messen . . . 333
H. B. Willers, Die Nebenstellentechnik . . . 334
E. Niemann, Funkentelegraphie für Flugzeuge . . . 334
Dr.-Ing. Preuß, Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens . . . 334
H. Mosler, Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung 335
W. A. Dyes, Internationales Handbuch der Weltwirtschaftschemie 1913/14 bis 1919/20 . . 335

Bekanntmachungen der Physikalisch-Technisch. Reichsanstalt 96. 192. 280. 361. 362
Berichtigung . . . 192
Namen- und Sachregister . . . 336
Fehlerberichtigung . . . 367
Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1921 . . . 367

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **Januar 1921.** Erstes Heft.

Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung[1]).

Von

Dr. Ing. **Willy Sander.**

(Mitteilung aus der optischen Anstalt von Carl Zeiss, Jena.)

Einleitung.

Die Stereophotogrammetrie hat sich aus der Photogrammetrie entwickelt, nachdem das stereoskopische Meßverfahren Eingang in die Praxis gefunden hatte, um dessen Ausbildung sich das Zeißwerk in Jena, und insbesondere dessen wissenschaftlicher Mitarbeiter Prof. Dr. Pulfrich, verdient gemacht hat. Wenn auch schon ältere Vorschläge stereoskopischer Meßapparate zu finden sind[2]), so können doch der nach der Idee von De Grousilliers im Zeisswerk gebaute stereoskopische Entfernungsmesser[3]), der 1899 der Öffentlichkeit übergeben worden ist, und der im Anschluß daran von C. Pulfrich erfundene Stereokomparator[4]), der 1901 fertiggestellt wurde, als die ersten praktischen stereoskopischen Meßinstrumente bezeichnet werden.

Der erste Versuch zur praktischen Erprobung der Stereophotogrammetrie für die Zwecke der Topographie ist 1903 in Jena von C. Pulfrich in Gemeinschaft mit dem Generalmajor Schulze, Chef der topographischen Abteilung der Preußischen Landesaufnahme, und dem Topographen Seliger gemacht worden. Über die Ergebnisse dieses Versuches liegt ein Bericht von C. Pulfrich vor[5]). 1904 hat dann der k. u. k. Oberst Freiherr v. Hübl, vom k. u. k. Militärgeographischen Institut in Wien, den Stereokomparator für die Zwecke der österreichischen Landesaufnahme nutzbar gemacht. Auf seine Veranlassung wurden in Tirol stereophotogrammetrische Aufnahmen gemacht, die dann dem Zeisswerk zur Erprobung des Stereokomparators zur Verfügung gestellt wurden. Über die ersten Ergebnisse des neuen Aufnahme-

[1]) Am 30. Mai 1918 bei der Technischen Hochschule in Hannover als Doktordissertation eingereicht.

[2]) v. Rohr, M., „Die binokularen Instrumente", *Berlin, 1907, S. 134 bis 136, 139, 158 bis 161, 179 bis 184.*

Pulfrich, C., „Neue stereoskopische Methoden und Apparate", *Berlin, 1912, S. 7 bis 11.*

[3]) Pulfrich, C., „Über den von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser", *Physikal. Zeitschr. 1. S. 98. 1899.*

[4]) Zuerst bekannt gemacht auf der Naturforscherversammlung in Hamburg am 23. September 1901.

[5]) Pulfrich, C., „Über einen Versuch zur praktischen Erprobung der Stereophotogrammetrie für die Zwecke der Topographie", *diese Zeitschr. 23. S. 317. 1903.*

und Meßverfahrens liegt ein Bericht[1]) des Frh. v. Hübl vor. Frh. v. Hübl hat dafür gesorgt, daß in Österreich die Methode der Stereophotogrammetrie stetig zunehmende Verwendung gefunden hat, worauf es zurückzuführen ist, daß das k. und k. Militärgeographische Institut auf diesem Gebiet bahnbrechend geworden ist und daß mannigfache Verbesserungsvorschläge von ihm ausgehen.

Je mehr man nach der neuen Methode arbeitete, desto störender wurde das Mißverhältnis zwischen der Feldarbeit und der Zimmerarbeit empfunden. Man hatte zwar gute Aufnahmeapparate zur Verfügung, mittels deren man ein großes Terrain in kurzer Zeit aufnehmen konnte, aber die Kartierung erforderte, trotzdem die von C. Pulfrich angegebene Zeichenvorrichtung[2]) als ein gutes Hilfsmittel zur Verfügung stand, einen erheblichen Zeitaufwand, da Punkt für Punkt der Schichtenlinienpläne mühsam aufgetragen werden mußte. Als eine ganz ansehnliche Leistung galt schon die Auftragung von 25 bis 30 Punkten in der Stunde. Es ist daher nicht verwunderlich, daß der Wunsch nach neuen, bequemeren Auftragmethoden rege wurde.

Von dem Devilleschen Vorschlag[3]) abgesehen, erkannte man bald, daß eine wesentliche Verbesserung nur durch eine zwangläufige Verbindung des Stereokomparators mit einer Zeichenvorrichtung erzielt werden konnte, dergestalt, daß die Schlittenbewegungen des Stereokomparators die Bewegungen des Zeichenstiftes so beeinflussen, daß die Beziehungen aufrechterhalten werden, die zwischen den Raumkoordinaten der Objektpunkte und den Plattenkoordinaten der Objektpunktbilder bestehen. Da man bei der Aufnahme noch lediglich nach dem sogenannten Normalfall arbeitete, d. h. die Aufnahmeapparate so zur Standlinie aufstellte, daß die Bildplatten in einer der Standlinie parallelen Lotebene lagen, so war die Aufgabe eigentlich keine schwierige. Immerhin hat es geraumer Zeit bedurft, bis eine gute Lösung gefunden wurde.

Den ersten Schritt auf diesem Wege tat der Lehrer der Topographie an der Militär-Ingenieurschule in London, Leutnant V. Thompson, indem er 1907 den sogenannten „Stereoplotter“[4]) ersann. Von der angestrebten befriedigenden Lösung war dieser Apparat noch weit entfernt. Immerhin gelang es, die Auftragleistung auf 100 bis 150 Punkte in der Stunde zu steigern.

Unabhängig von Thompson arbeitete der damalige k. und k. Oberleutnant, jetzige Major v. Orel vom Militärgeographischen Institut in Wien an der Lösung der Aufgabe, und es gelang ihm, einen den Anforderungen des Normalfalles vollauf entsprechenden Apparat zu erfinden, der anfänglich Autostereograph, später Stereoautograph benannt wurde.

Das erste Modell dieses Apparates[5]) wurde nach Angabe des Erfinders 1908 von der Firma Rost in Wien hergestellt. Es erforderte zur Bedienung außer dem

---

[1]) v. Hübl, A., „Die stereophotogrammetrische Terrainaufnahme“, *M. d. k. u. k. M. J., Wien* ***23.*** *1904.*

[2]) Pulfrich, C., „Über einen Versuch zur praktischen Erprobung der Stereophotogrammetrie für die Zwecke der Topographie“, *Diese Zeitschr.* ***23.*** *S. 317. 1903.*

[3]) Deville, E., *„On the Use of Wheatstone Stereoscope in Photographing Surveying“, Transactions of the Royal Society of Canada, 1902/03. S. 63.*

[4]) Thompson, V., *„Stereo-Photo-Surveying“, The Geographical Journal. London.* ***31.*** *S. 534. 1908.* — Dolezal, E., „Stereoplotter des englischen Leutnants V. Thompson“, *J. A. f. Ph.,* ***3.*** *S. 130. 1912.*

[5]) v. Orel, E., „Der Stereoautograph als Mittel zur automatischen Verwertung von Komparatordaten“, *M. d. k. u. k. M. J.* ***30.*** *Wien. 1911.*

Beobachter am Stereokomparator noch einen weiteren Gehilfen zum Einstellen des Zeichenstiftes, gestattete also noch kein vollkommen automatisches Planzeichnen. Die weitere Ausarbeitung des Apparates übernahm dann das Zeisswerk. Seinen Mitarbeitern im Verein mit v. Orel ist es zu danken, daß bereits 1909 ein Stereoautograph vorlag, der nur einen einzigen Bedienenden erforderte und dabei gestattete, beliebige Linien des Geländes, insbesondere Höhenschichtenlinien, automatisch aufzuzeichnen. Der Apparat erlaubte eine außerordentliche Steigerung der Auftragarbeit. Es wurde möglich, einen fast lückenlosen Schichtenplan eines Alpengebietes von 20 qkm Ausdehnung im Maßstab 1 : 25 000 in 16 Stunden auszuarbeiten[1]).

Die dem Stereoautographen übertragene Aufgabe wurde bald mehr erweitert. Als man erkannt hatte, daß bei der Aufnahme von ein und derselben Standlinie aus vorteilhaft nicht nur der Normalfall berücksichtigt wird, sondern auch derjenige Fall, in dem die Horizontalprojektionen der Objektivachsen gegen die mit ihnen in ein und derselben Ebene liegende Senkrechte zur Standlinie gleichmäßig nach links oder rechts verschwenkt sind, oder auch der weitere Fall, in dem die Horizontalprojektionen der Objektivachsen gegeneinander konvergent, bzw. divergent sind, verlangte man vom Stereoautographen auch die Auswertung diesen Fällen entsprechender Bildplatten. Dem Zeisswerk gelang die geforderte Weiterausbildung des Apparates; 1913 wurde das erste Modell fertiggestellt[2]).

An die Aufnahme war immer noch die Bedingung geknüpft, daß die Objektivachsen horizontal gerichtet waren. So lange man dabei blieb, Aufnahmen nur von festen Punkten der Erde aus zu machen, konnte man diesen Bedingungen allenfalls Rechnung tragen, wenngleich auch schon bei solchen Aufnahmen häufig Geländeverhältnisse vorlagen, denen man sich nicht restlos anpassen konnte. In letzter Zeit hat es sich aber immer mehr als wünschenswert herausgestellt, Aufnahmen von Luftfahrzeugen aus zu machen. In diesem Falle empfiehlt es sich, den Objektivachsen eine Neigung gegen die Horizontalebene zu erteilen, um so den ausnutzbaren Teil der Platten zu vergrößern.

Mit der Aufgabe der Verwertung solcher Aufnahmen haben sich insbesondere der k. u. k. Hauptmann Th. Scheimpflug und nach dessen Tode der inzwischen ebenfalls verstorbene Ingenieur G. Kammerer, Wien, beschäftigt. Sie fußten dabei auf der Methode, die Bildplatten mittels eines sogenannten Perspektographen umzubilden und die erzeugten Umbildungen auf einem geeigneten Auftragapparat auszuarbeiten. In der Literatur ist über einen solchen Auftragapparat nur die Bemerkung zu finden, daß er im Bau ist[3]). Eine Beschreibung liegt noch nicht vor.

---

[1]) Eine verwandte Lösung, die voraussetzt, daß beide Bilder eines Objekts auf ein und derselben Bildplatte aufgenommen sind, ist später von Dr. techn. Zaar angegeben worden. Siehe „Ein photogrammetrischer Auftragapparat", *I. A. f. Ph. 4. S. 200. 1913/14.* Weitere Auftragapparate nach der Art des Orelschen sind angekündigt von Dr. Ing. L. Günther in einem Vortrag „Die Photogrammetrie im Dienste der Technik", vgl. die Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes, *Jahrgang 1913, S. 95, Berlin,* und von dem k. u. k. Oberstleutnant Truck, vgl. „Die Bedeutung und Anwendung der Stereophotogrammetrie als Vermessungsmethode in der Ingenieurpraxis", *J. A. f. Ph. 4. S. 93. 1913/14.*

[2]) Mit der weiteren Ausbildung des Stereoautographen hat sich auch Prof. K. Fuchs in Preßburg beschäftigt. Siehe *„Bemerkungen zum Orelschen Stereoautographen" J. A. f. Ph. 3. S. 184. 1912.*

[3]) Kammerer, G., „Th. Scheimpflugs Landvermessung aus der Luft". *J. A. f. Ph. 3. S. 196. 1912.*

Verfasser hat sich 1913 mit dieser Aufgabe beschäftigt. In einer unveröffentlichten Abhandlung vom 29. November 1913 hat er die Beziehungen abgeleitet, die im Falle einer stereophotogrammetrischen Aufnahme mit beliebig in den Raum gerichteten Objektivachsen zwischen den Raumkoordinaten eines Objektpunktes und den Plattenkoordinaten entsprechender Objektpunktbilder bestehen, und hat im Anschluß daran einen Apparat angegeben, der auf einer weiteren Ausgestaltung des Stereoautographen beruht und zur Auswertung derartiger Aufnahmen geeignet ist, sofern die Neigung der Objektivachsen gegen die Horizontalebene etwa 30^0 nicht überschreitet (und sofern natürlich ein stereoskopischer Effekt überhaupt vorhanden ist)[1]). Ein zweiter Vorschlag, der ebenfalls auf einer Weiterentwicklung des Stereoautographen beruht, stammt von dem früheren Mitarbeiter der Firma Stereographik, Wien, Dr. v. Gruber, und ist in einer unveröffentlichten Arbeit desselben vom 20. Mai 1915 enthalten[2]). Weitere Lösungen hat Verfasser 1917 ausgearbeitet. Alle diese Lösungen sollen in der vorliegenden Abhandlung an Hand schematischer Zeichnungen besprochen werden, wobei, soweit es tunlich erscheint, auch auf die bereits vorliegenden Modelle des Stereoautographen eingegangen werden soll. Bei der Besprechung der v. Gruberschen Lösung ist in einzelnen Punkten eine von der v. Gruberschen abweichende Darstellung gewählt, auch sind Ergänzungen eingefügt, um den Zusammenhang mit den Lösungen des Verfassers klarzustellen.

Ermittlung der Beziehungen, die zwischen den Raumkoordinaten eines Objektpunktes und den Plattenkoordinaten der Bilder dieses Objektpunktes bestehen.

A. Die Hauptgleichungen des allgemeinen Falles.

In Fig. 1 bis 5 ist schematisch der Strahlengang bei der Abbildung eines Objektpunktes P auf zwei Bildplatten A_l und A_r von beliebiger gegenseitiger Lage dargestellt. Zum Abbilden des Punktes P auf die linke Bildplatte, A_l, dient ein Objektiv O_l mit der Brennweite f_1, zum Abbilden auf die rechte Bildplatte, A_r, ein Objektiv O_r mit der Brennweite f_2.

Es seien folgende Bezeichnungen eingeführt.

b: für die Standlinie, d. i. die Verbindungslinie der optischen Mittelpunkte der beiden Objektive O_l und O_r.

α: für den Neigungswinkel der Horizontalprojektion der linken Objektivachse gegen die in der Horizontalebene liegende Senkrechte zur Standlinie (Verschwenkungswinkel).

β_1: für den Neigungswinkel der linken Objektivachse gegen die Horizontalebene.

β_2: für den Neigungswinkel der rechten Objektivachse gegen die Horizontalebene.

γ: für den Neigungswinkel der Horizontalprojektionen der beiden Objektivachsen gegeneinander.

ε: für den Neigungswinkel der Standlinie gegen die Horizontalebene.

[1]) Diese Lösung des Verfassers ist erstmalig angedeutet in dem Aufsatz v. Orels „Der Stereoautograph Modell 1911", *J. A. f. Ph. 4. 1913/14. S. 161.* („Auch die Aufgabe der Verarbeitung beliebig in den Raum gerichteter Hauptachsen ist prinzipiell gelöst . . . . . ." *S. 163).*

[2]) Herr Dr. v. Gruber hat den Verfasser ermächtigt, den Inhalt dieser Arbeit, die die Untersuchungen des Verfassers in wertvoller Weise ergänzt, in der vorliegenden Abhandlung zur Veröffentlichung zu bringen. Ihm sei dafür auch an dieser Stelle bestens gedankt.

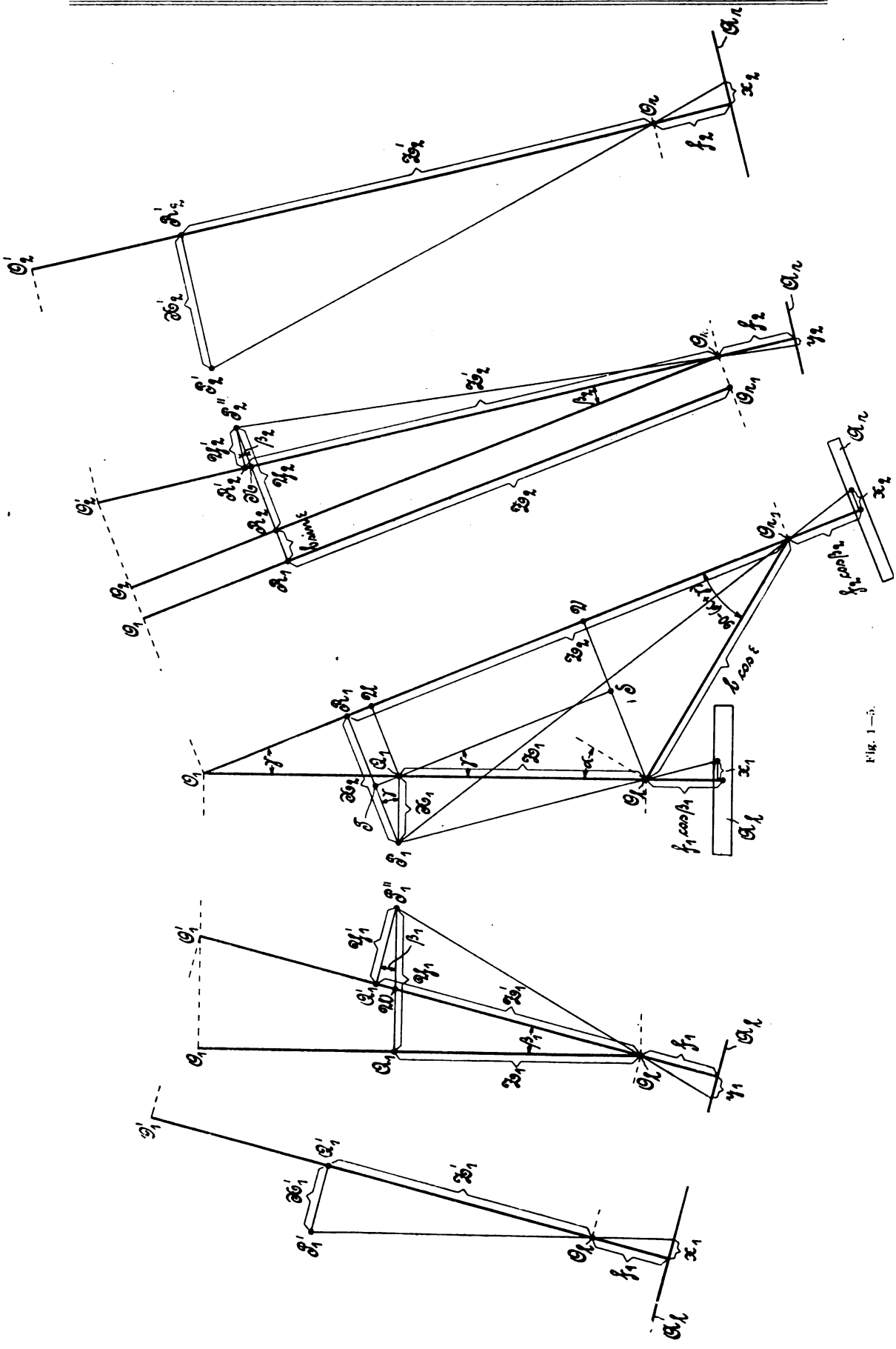


Fig. 1—5.

Dabei gelten die folgenden Vorzeichen:

b ist immer positiv.

α ist positiv bei Linksverschwenkung der Horizontalprojektion der linken Objektivachse gegen die in der Horizontalebene liegende Senkrechte zur Standlinie.

β_1 ist positiv, wenn die linke Objektivachse nach oben geneigt ist.

β_2 ist positiv, wenn die rechte Objektivachse nach oben geneigt ist.

γ ist positiv bei Konvergenz der Horizontalprojektionen der beiden Objektivachsen.

ε ist positiv, wenn die Standlinie vom linken Objektiv, O_l, aus gerechnet nach oben geneigt ist.

Die Raumkoordinaten X_1, Y_1 und Z_1 des Punktes P sollen auf ein System von drei zueinander senkrechten Ebenen bezogen werden, die sich im optischen Mittelpunkt des linken Objektivs, O_l, schneiden und deren eine, die $X_1 Z_1$-Ebene, die Horizontalebene, deren zweite, die $Y_1 Z_1$-Ebene, die die linke Objektivachse enthaltende lotrechte Ebene, und deren dritte, die $X_1 Y_1$-Ebene, die zu den beiden anderen Ebenen senkrechte Ebene ist (vgl. Fig. 6).

Dabei gelten die folgenden Vorzeichen:

X_1 ist links von der $Y_1 Z_1$-Ebene positiv.
Y_1 ist oberhalb der $X_1 Z_1$-Ebene positiv.
Z_1 ist vor der $X_1 Y_1$-Ebene positiv.

Die Koordinaten jedes Objektpunktbildes auf der linken Bildplatte, x_1 und y_1, und auf der rechten Bildplatte, x_2 und y_2, sollen auf ein in der betreffenden Bildplatte liegendes rechtwinkliges Koordinatensystem bezogen werden, das seinen Anfang im Durchstoßpunkt der zugehörigen Objektivachse hat und dessen x-Achse wagerecht liegt, während die y-Achse senkrecht dazu gerichtet ist. Die Vorzeichen sind durch die oben getroffene Wahl der Vorzeichen der Raumkoordinaten bestimmt.

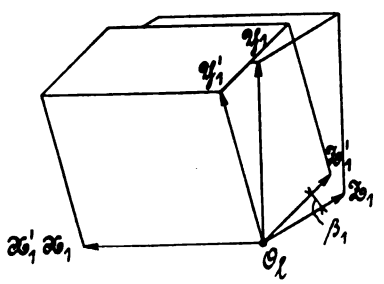


Fig. 6.

Im folgenden sollen die Beziehungen abgeleitet werden, die zwischen den Koordinaten eines Objektpunktes P, bezogen auf dieses räumliche Koordinatensystem, und den Koordinaten der Bilder dieses Objektpunktes, je bezogen auf das zugehörige ebene Koordinatensystem, bestehen. Um die durchzuführende Rechnung leichter verständlich zu machen, sollen drei weitere rechtwinklige, räumliche Koordinatensysteme eingeführt werden.

Das eine dieser Systeme, bezüglich dessen die Koordinaten des Punktes P mit X_1', Y_1' und Z_1' bezeichnet werden mögen, erhält als Koordinatenanfang wie das oben erwähnte räumliche System den optischen Mittelpunkt des linken Objektivs, O_l. Die Lage seiner Ebenen wird wie folgt festgesetzt (vgl. Fig. 6): Die die linke Objektivachse enthaltende, unter dem Winkel β_1 gegen die $X_1 Z_1$-Ebene (Horizontalebene) geneigte Ebene wird die $X_1' Z_1'$-Ebene, die die linke Objektivachse enthaltende lotrechte Ebene wird die $Y_1' Z_1'$-Ebene (die also mit der $Y_1 Z_1$-Ebene zusammenfällt), und die zu diesen beiden Ebenen senkrechte Ebene wird die $X_1' Y_1'$-Ebene.

Die anderen beiden räumlichen Koordinatensysteme erhalten als Koordinaten-

anfang den optischen Mittelpunkt des rechten Objektivs, O_r, und werden im übrigen analog den bisher definierten beiden räumlichen Systemen gewählt (vgl. Fig. 7).

Demgemäß ist bei dem X_2, Y_2, Z_2-System die $X_2 Z_2$-Ebene die Horizontalebene, die $Y_2 Z_2$-Ebene die die rechte Objektivachse enthaltende lotrechte Ebene und die $X_2 Y_2$-Ebene die zu diesen beiden Ebenen senkrechte Ebene, während bei dem X_2', Y_2', Z_2'-System die $X_2' Z_2'$-Ebene die gegen die $X_2 Z_2$-Ebene (die Horizontalebene) unter dem Winkel β_2 geneigte Ebene, die $Y_2' Z_2'$-Ebene, wie die $Y_2 Z_2$-Ebene, die die rechte Objektivachse enthaltende lotrechte Ebene und die $X_2' Y_2'$-Ebene die zu diesen beiden Ebenen senkrechte Ebene ist.

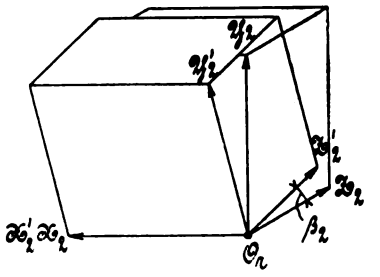


Fig 7.

In Fig. 1 ist der Strahlengang bei der Abbildung des Punktes P auf beide Bildplatten in einer Projektion in die $X_1 Z_1$-Ebene dargestellt. Fig. 2 und 3 zeigen den Strahlengang bei der Abbildung des Punktes auf die linke Bildplatte, A_l, in einer Projektion in die $Y_1 Z_1 (Y_1' Z_1')$-Ebene, bzw. in die $X_1' Z_1'$-Ebene. Fig. 4 und 5 endlich veranschaulichen den Strahlengang bei der Abbildung des Punktes auf die rechte Bildplatte, A_r, in einer Projektion in die $Y_2 Z_2 (Y_2' Z_2')$-Ebene, bzw. in die $X_2' Z_2'$-Ebene. Dabei ist die gegenseitige Anordnung der Objektive so gewählt, daß die Winkel α, β_1, β_2, γ und ε sämtlich positiv sind, und ist ferner der abzubildende Punkt P so im Raume liegend angenommen, daß seine Koordinaten X_1, Y_1 und Z_1 sämtlich positiv sind.

Mit den in die Figuren eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus Fig. 1 bis 3

$$\frac{x_1}{f_1} = \frac{X_1'}{Z_1'} \tag{1}$$

$$\frac{y_1}{f_1} = \frac{Y_1'}{Z_1'} \tag{2}$$

$$X_1' = X_1 \tag{3}$$

$$Y_1' = W P_1'' \cos\beta_1 = (Y_1 - Z_1 \operatorname{tg}\beta_1)\cos\beta_1$$

$$Y_1' = Y_1 \cos\beta_1 - Z_1 \sin\beta_1 \tag{4}$$

$$Z_1' = O_1 W + W Q_1' = \frac{Z_1}{\cos\beta_1} + (Y_1 - Z_1 \operatorname{tg}\beta_1)\sin\beta_1$$

$$Z_1' = Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1 \tag{5}$$

Durch Einsetzen von 3) und 5) in 1) und von 4) und 5) in 2) ergibt sich

$$\frac{x_1}{f_1} = \frac{X_1}{Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1} \tag{6}$$

$$\frac{y_1}{f_1} = \frac{Y_1 \cos\beta_1 - Z_1 \sin\beta_1}{Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1} \tag{7}$$

Aus Fig. 1 folgt

$$X_2 = P_1 T + T R_1 = P_1 T + O_1 V - O_1 S$$

$$X_2 = X_1 \cos\gamma + b \cos\varepsilon \cos(\alpha + \gamma) - Z_1 \sin\gamma \tag{8}$$

$$Z_2 = R_1 U + U V + V O_{r1} = T Q_1 + Q_1 S + V O_{r1}$$

$$Z_2 = X_1 \sin\gamma + Z_1 \cos\gamma + b \cos\varepsilon \sin(\alpha + \gamma) \tag{9}$$

Aus Fig. 4 und 5 folgt

$$\frac{x_2}{f_2} = \frac{X_2'}{Z_2'} \tag{10}$$

$$\frac{y_2}{f_2} = \frac{Y_2'}{Z_2'} \tag{11}$$

$$X_2' = X_2 \tag{12}$$

$$Y_2' = \overline{N P_2''} \cos\beta_2 = (Y_2 - Z_2 \operatorname{tg}\beta_2)\cos\beta_2$$

$$Y_2' = Y_2 \cos\beta_2 - Z_2 \sin\beta_2 \tag{13}$$

$$Z_2' = \overline{O_r N} + \overline{N R_2'} = \frac{Z_2}{\cos\beta_2} + (Y_2 - Z_2 \operatorname{tg}\beta_2)\sin\beta_2$$

$$Z_2' = Y_2 \sin\beta_2 + Z_2 \cos\beta_2 \tag{14}$$

Durch Einsetzen von 12) und 14) in 10) und von 13) und 14) in 11) ergibt sich

$$\frac{x_2}{f_2} = \frac{X_2}{Y_2 \sin\beta_2 + Z_2 \cos\beta_2} \tag{15}$$

$$\frac{y_2}{f_2} = \frac{Y_2 \cos\beta_2 - Z_2 \sin\beta_2}{Y_2 \sin\beta_2 + Z_2 \cos\beta_2} \tag{16}$$

Durch Einsetzen von 8) und 9) in 15) und 16), mit

$$Y_2 = Y_1 - b \sin\varepsilon \tag{17}$$

ergibt sich

$$\frac{x_2}{f_2} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1 \cos\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \sin\beta_2 + Z_1 \cos\beta_2 \cos\gamma + b[\cos\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \sin\beta_2 \sin\varepsilon]} \tag{18}$$

$$\frac{y_2}{f_2} = \frac{-X_1 \sin\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \cos\beta_2 - Z_1 \sin\beta_2 \cos\gamma - b[\sin\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) + \cos\beta_2 \sin\varepsilon]}{X_1 \cos\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \sin\beta_2 + Z_1 \cos\beta_2 \cos\gamma + b[\cos\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \sin\beta_2 \sin\varepsilon]} \tag{19}$$

Im folgenden soll stets vorausgesetzt werden, daß die Gleichung besteht

$$f_1 = f_2 = f \tag{20}$$

was praktisch immer der Fall ist, da man die Abbildung auf beide Bildplatten durch denselben Aufnahmeapparat zu erzeugen pflegt. Mit 20) gehen die Gleichungen 6), 7), 18) und 19) über in

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1} \tag{I}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1 \cos\beta_1 - Z_1 \sin\beta_1}{Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1} \tag{II}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1 \cos\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \sin\beta_2 + Z_1 \cos\beta_2 \cos\gamma + b[\cos\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \sin\beta_2 \sin\varepsilon]} \tag{III}$$

$$\frac{y_2}{f} = \frac{-X_1 \sin\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \cos\beta_2 - Z_1 \sin\beta_2 \cos\gamma - b[\sin\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) + \cos\beta_2 \sin\varepsilon]}{X_1 \cos\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \sin\beta_2 + Z_1 \cos\beta_2 \cos\gamma + b[\cos\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \sin\beta_2 \sin\varepsilon]} \tag{IV}$$

und aus diesen vier Gleichungen ergeben sich durch Auflösung nach X_1, Y_1 und Z_1 die Gleichungen

$$X_1 = Z_1 \frac{x_1}{f\cos\beta_1 - y_1 \sin\beta_1} \tag{V}$$

$$Y_1 = Z_1 \frac{f\sin\beta_1 + y_1 \cos\beta_1}{f\cos\beta_1 - y_1 \sin\beta_1} \tag{VI}$$

$$Z_1 = \frac{b\left\{\begin{array}{l} -y_1 f \sin\beta_1 \cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma) + x_2 f\cos\beta_1[\sin\beta_2\sin\varepsilon - \cos\beta_2\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)] + \\ y_1 x_2 \sin\beta_1[\cos\beta_2\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma) - \sin\beta_2\sin\varepsilon] + f^2\cos\beta_1\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma) \end{array}\right\}}{\begin{array}{l} -x_1 f\cos\gamma - y_1 f\sin\beta_1\sin\gamma + x_2 f(\cos\beta_1\cos\beta_2\cos\gamma + \sin\beta_1\sin\beta_2) + \\ x_1 x_2 \cos\beta_2\sin\gamma - y_1 x_2(\sin\beta_1\cos\beta_2\cos\gamma - \cos\beta_1\sin\beta_2) + f^2\cos\beta_1\sin\gamma \end{array}} \tag{VII}$$

Die Gleichungen I bis VII geben die gesuchten Beziehungen für den allgemeinsten Fall an, der bei der Abbildung eines Punktes überhaupt vorliegen kann, wobei also α, β_1, β_2, γ und ε innerhalb der zulässigen Grenzen liegende, reelle Werte besitzen.

Die Gleichungen I bis VI sollen deshalb als die Hauptgleichungen für den Fall beliebig gerichteter Objektivachsen bezeichnet werden. Aus ihnen lassen sich mühelos die entsprechenden Hauptgleichungen der folgenden Sonderfälle ableiten.

B. Die Hauptgleichungen der Sonderfälle.

a) Der Normalfall.

$$\alpha = 0,\ \beta_1 = 0,\ \beta_2 = 0,\ \gamma = 0,\ \varepsilon = 0$$

Die Objektivachsen liegen mit der Standlinie in ein und derselben Horizontalebene und sind senkrecht zur Standlinie gerichtet.

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Ia)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IIa)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 + b}{Z_1} \qquad \text{IIIa)}$$

$$\frac{y_2}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IVa)}$$

$$X_1 = Z_1 \frac{x_1}{f} \qquad \text{Va)}$$

$$Y_1 = Z_1 \frac{y_1}{f} \qquad \text{VIa)}$$

$$Z_1 = \frac{b f}{x_2 - x_1} \qquad \text{VIIa)}$$

Die Differenz $x_2 - x_1$ wird als die stereoskopische Horizontalparallaxe bezeichnet. Die analog als die stereoskopische Vertikalparallaxe bezeichnete Differenz $y_2 - y_1$ hat in diesem Fall den Wert Null.

Praktischen Wert hat dieser allerspeziellste Fall nicht, da sich die Bedingung $\varepsilon = 0$ im allgemeinen nicht einhalten läßt.

b) Der erweiterte Normalfall.

$$\alpha = 0,\ \beta_1 = 0,\ \beta_2 = 0,\ \gamma = 0,\ \varepsilon \geq 0.$$

Die Standlinie ist gegen die Horizontalebene um den Winkel ε geneigt. Die Objektivachsen sind wagerecht und senkrecht zur Horizontalprojektion der Standlinie gerichtet.

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Ib)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IIb)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 + b\cos\varepsilon}{Z_1} \qquad \text{IIIb)}$$

$$\frac{y_2}{f} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{Z_1} \qquad \text{IVb)}$$

$$X_1 = Z_1 \frac{x_1}{f} \qquad \text{Vb)}$$

$$Y_1 = Z_1 \frac{y_1}{f} \qquad \text{VIb)}$$

$$Z_1 = \frac{b f \cos \varepsilon}{x_2 - x_1} \qquad \text{VIIb)}$$

Die Vertikalparallaxe $y_2 - y_1$ hat in diesem Fall — wie immer, wenn eine Abweichung von dem Normalfall vorliegt — einen von Null abweichenden Wert.

c) Der Fall gleichmäßig verschwenkter Objektivachsen.

$$\alpha \lesseqgtr 0, \ \beta_1 = 0, \ \beta_2 = 0, \ \gamma = 0, \ \varepsilon \lesseqgtr 0.$$

Die Standlinie ist gegen die Horizontalebene um den Winkel ε geneigt. Die Objektivachsen sind wagerecht und einander parallel, und jede von ihnen ist gegen die mit ihr in ein und derselben Horizontalebene liegende Senkrechte zur Standlinie um den Winkel α verschwenkt.

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Ic)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IIc)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 + b \cos \alpha \cos \varepsilon}{Z_1 + b \sin \alpha \cos \varepsilon} \qquad \text{IIIc)}$$

$$\frac{y_2}{f} = \frac{Y_1 - b \sin \varepsilon}{Z_1 + b \sin \alpha \cos \varepsilon} \qquad \text{IVc)}$$

$$X_1 = Z_1 \frac{x_1}{f} \qquad \text{Vc)}$$

$$Y_1 = Z_1 \frac{y_1}{f} \qquad \text{VIc)}$$

$$Z_1 = \frac{b (f \cos \alpha - x_2 \sin \alpha) \cos \varepsilon}{x_2 - x_1} \qquad \text{VIIc)}$$

d) Der Fall konvergenter (divergenter) Objektivachsen.

$$\alpha \lesseqgtr 0, \ \beta_1 = 0, \ \beta_2 = 0, \ \gamma \lesseqgtr 0, \ \varepsilon \lesseqgtr 0.$$

Die Standlinie ist gegen die Horizontalebene um den Winkel ε geneigt. Die Objektivachsen sind wagerecht, aber nicht parallel zueinander; ihre Horizontalprojektionen schließen den Winkel γ miteinander ein. Die linke Objektivachse ist gegen die mit ihr in ein und derselben Horizontalebene liegende Senkrechte zur Standlinie um den Winkel α verschwenkt.

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Id)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IId)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 \cos \gamma - Z_1 \sin \gamma + b \cos \varepsilon \cos (\alpha + \gamma)}{X_1 \sin \gamma + Z_1 \cos \gamma + b \cos \varepsilon \sin (\alpha + \gamma)} \qquad \text{IIId)}$$

$$\frac{y_2}{f} = \frac{Y_1 - b \sin \varepsilon}{X_1 \sin \gamma + Z_1 \cos \gamma + b \cos \varepsilon \sin (\alpha + \gamma)} \qquad \text{IVd)}$$

$$X_1 = Z_1 \frac{x_1}{f} \qquad \text{Vd)}$$

$$Y_1 = Z_1 \frac{y_1}{f} \qquad \text{VId)}$$

$$Z_1 = \frac{b\, f\,[f \cos(\alpha+\gamma) - x_2 \sin(\alpha+\gamma)]\cos\varepsilon}{(f^2 + x_1 x_2)\sin\gamma + f(x_2 - x_1)\cos\gamma}. \qquad \text{VIId)}$$

Der Stereokomparator nach Prof. Dr. Pulfrich.

Der Stereokomparator dient zum Ausmessen der Bildplatten. Er liefert die Plattenkoordinaten der Objektpunktbilder, aus denen sich nach den Hauptgleichungen die Raumkoordinaten der Objektpunkte bestimmen lassen. Der Stereokomparator ist in der Fachliteratur oft und ausführlich beschrieben worden (vgl. z. B. „Neue stereoskopische Methoden und Apparate" von Dr. C. Pulfrich, Berlin, 1912), es soll deshalb hier nur eine kurze Beschreibung gegeben werden, soweit eine solche zum Verständnis des Folgenden nötig scheint.

In Fig. 8 sind a und b zwei Bildplatten, die mit der Schichtseite nach unten, entsprechend der natürlichen Lage der Objektbilder (also gegenüber der Lage bei der Aufnahme um 180° in ihrer Ebene verdreht) und im übrigen so angeordnet sind, daß die vom linken Ende der Standlinie aus aufgenommene Platte links, die andere rechts liegt, und daß sowohl die beiden x-Achsen als auch die beiden y-Achsen einander parallel sind. Die Richtung der x-Achsen werde als die Breitenrichtung, die der y-Achsen als die Höhenrichtung der Bildplatten bezeichnet. Zur Beobachtung der Bildplatten dient ein binokulares Mikroskop M, das zwei Meßmarken enthält, die ein stereoskopisches Markenbild ergeben. Der Meßvorgang besteht darin, die beiden Bildplatten gegenüber dem Mikroskop in ihrer Breiten- und Höhenrichtung derart zu verschieben, daß das stereoskopische Markenbild mit den stereoskopischen Bildern der Objektpunkte der Reihe nach zur Deckung gebracht wird. Die Verschiebung der Bildplatten gegenüber dem Mikroskop erfolgt durch vier Schlitten A, B, C und D.

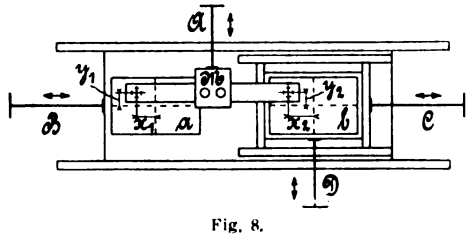


Fig. 8.

Der Schlitten A (der Höhenschlitten des Stereokomparators) verschiebt das Mikroskop gegenüber den Bildplatten in deren Höhenrichtung, er verursacht also eine Änderung der gegenseitigen Höhenlage des stereoskopischen Markenbildes und des stereoskopischen Objektbildes. Dieselbe Wirkung tritt ein, wenn der Schlitten A statt des Mikroskops die beiden Bildplatten trägt.

Der Schlitten B (der Breitenschlitten des Stereokomparators) verschiebt die beiden Bildplatten gegenüber dem Mikroskop in ihrer Breitenrichtung, er ändert somit die gegenseitige Breitenlage des stereoskopischen Markenbildes und des stereoskopischen Objektbildes. Auch dann, wenn der Schlitten B statt der Bildplatten das Mikroskop trägt, tritt diese Wirkung ein.

Der Schlitten C (der Horizontalparallaxenschlitten des Stereokomparators) verschiebt die rechte Bildplatte gegenüber dem Schlitten B in ihrer Breitenrichtung. Er beeinflußt also den gegenseitigen Abstand der beiden Bildplatten in ihrer Breitenrichtung, wodurch die gegenseitige Tiefenlage des stereoskopischen Markenbildes und des stereoskopischen Objektbildes geändert wird.

Der Schlitten D (der Vertikalparallaxenschlitten des Stereokomparators) endlich verschiebt die rechte Bildplatte gegenüber dem Schlitten A in ihrer Höhenrichtung. Er wirkt somit auf den gegenseitigen Abstand der beiden Bildplatten in ihrer Höhenrichtung. Eine solche Verschiebung ist nur erforderlich, um den stereoskopischen Effekt herbeizuführen, bzw. aufrechtzuerhalten.

Außerdem sind Skalen angeordnet zu denken, mittels deren die Verschiebungen der Schlitten A, B und C gemessen werden können. Eine Messung der Verschiebung des Schlittens D ist nicht erforderlich, da, wie aus den Gleichungen V bis VII ersichtlich ist, die Plattenkoordinate y_2 zur Bestimmung der Raumkoordinaten eines Punktes nicht bekannt zu sein braucht.

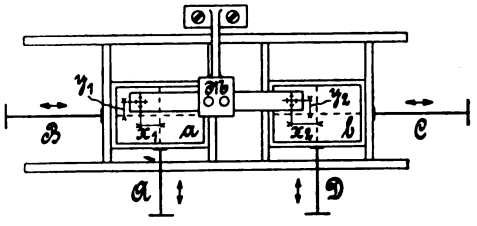


Fig. 9.

Fig. 9 zeigt eine andere Ausführungsform des Stereokomparators, die für den Stereoautographen ebenfalls von Bedeutung ist. Bei dieser Form steht das Mikroskop M fest. Die Schlitten A und B regeln nur die Bewegungen der linken Bildplatte a gegenüber dem Mikroskop, während die Schlitten B und C nur die Bewegungen der rechten Bildplatte b regeln.

Der Stereoautograph.

Der Stereoautograph ist die Verbindung des Pulfrichschen Stereokomparators mit einer Zeichenvorrichtung dergestalt, daß beim Beobachten des aus zwei auf den Stereokomparator aufgelegten Bildplatten zu entnehmenden stereoskopischen Bildes einer Landschaft und des stereoskopischen Markenbildes des Stereokomparators durch nur diejenigen Handhabungen, die erforderlich sind, um einen Punkt der Landschaft mit der stereoskopischen Marke zum Zusammenfallen zu bringen, dem Zeichenstift diejenige Lage zu der Zeichenfläche erteilt wird, die der Horizontalprojektion des Punktes entpricht.

Dabei löst der Stereoautograph die Aufgabe, beliebige Linien der Landschaft, insbesondere Höhenschichtenlinien aufzuzeichnen. Über weitere Aufgaben, die der Stereoautograph bei geeigneter Ausbildung lösen kann, siehe die Patentschrift zum D. R. P. 262499 vom 20. Dezember 1910.

I. Der Stereoautograph zur Auswertung von Bildplatten, die mit Objektiven von horizontaler Achsenrichtung gewonnen sind.

Bei der stereophotogrammetrischen Aufnahme können unter der Voraussetzung horizontaler Objektivachsen die folgenden drei Fälle vorliegen:

1. Der erweiterte Normalfall (dabei angenommen, daß der Normalfall selbst, weil praktisch fast unerfüllbar, ausscheidet).
2. Der Fall gleichmäßig verschwenkter Objektivachsen.
3. Der Fall konvergenter (divergenter) Objektivachsen.

Diesen drei Fällen entsprechen die folgenden drei Ausführungsformen des Stereoautographen:[1])

a) Stereoautograph zur Auswertung von Bildplatten, bei deren Aufnahme der erweiterte Normalfall vorgelegen hat (Ausführungsform A des Stereoautographen).

[1]) Diesen drei Fällen entsprechende Ausführungsformen lagen bei Inangriffnahme der vorliegenden Arbeit bereits vor.

b) Stereoautograph zur Auswertung von Bildplatten, bei deren Aufnahme die Objektivachsen gleichmäßig verschwenkt waren. (Ausführungsform B des Stereoautographen).

c) Stereoautograph zur Auswertung von Bildplatten, bei deren Aufnahme die Objektivachsen konvergent (divergent) waren (Ausführungsform C des Stereoautographen).

Von der Ausführungsform *A* soll hier nur diejenige Konstruktion besprochen werden, die schließlich als die vorteilhafteste erkannt worden ist. Bezüglich der vorhergegangenen Entwicklung sei auf die Abhandlung von v. Orel „Der Stereoautograph als Mittel zur automatischen Verwertung von Komparatordaten" in den „Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes", 30, verwiesen. An die erwähnte Konstruktion schließen sich dann die Ausführungsformen *B* und *C* eng an.

Sämtlichen drei Ausführungsformen ist die folgende, als zweckmäßig befundene Anordnung gemeinsam (Fig. 10 bis 12, Tafel I bis III). Der Stereokomparator mit den Schlitten *A, B, C* und *D* und dem Mikroskop *M* ist mit einem Kreuzschlittensystem gekuppelt, das den Zeichenstift z_1 gegenüber einer auf der Grundplatte *G* fest angeordneten Zeichenfläche z_2 bewegt. Dieses Kreuzschlittensystem enthält als untersten Schlitten den in der Tiefenrichtung (*Z*-Richtung) verschiebbaren Tiefenschlitten (*Z*-Schlitten) C_1, auf dem nebeneinander der den Zeichenstift z_1 tragende Breitenschlitten (*X*-Schlitten) B_1 und der Höhenschlitten (*Y*-Schlitten) A_1 so angeordnet sind, daß die Verschiebungsrichtung beider Schlitten in der Breitenrichtung (*X*-Richtung) liegt. Dabei hat das Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1 eine solche Lage zum Stereokomparator, daß seine Breitenrichtung (*X*-Richtung) mit der Breitenrichtung (*x*-Richtung) der Bildplatten und seine Tiefenrichtung (*Z*-Richtung) mit der Höhenrichtung (*y*-Richtung) der Bildplatten zusammenfällt. Zum Antrieb des Stereoautographen dient ein Treibsystem, das das Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1 antreibt. Der Höhenschlitten A_1 wird durch eine Gewindespindel a_1 verschoben, die ihre Bewegung durch ein Kegelrad a_2 und ein längs einer genuteten Welle a_3 verschiebliches, durch einen Mitnehmer a_4 mit dem Tiefenschlitten C_1 gekuppeltes Kegelrad a_5 von dieser Welle a_3 aus empfängt. Die Bewegung der Welle a_3 erfolgt durch ein Kegelräderpaar a_6 und durch weitere unterhalb der Grundplatte *G* angeordnete (in der Zeichnung weggelassene) Antriebsglieder von einer dem linken Fuß des Beobachters zugänglichen Fußscheibe a_7 aus. Der Breitenschlitten B_1 wird durch eine Gewindespindel b_1 verschoben, die ihre Bewegung durch ein Kegelrad b_2 und ein längs einer genuteten Welle b_3 verschiebliches, durch einen Mitnehmer b_4 mit dem Tiefenschitten C_1 gekuppeltes Kegelrad b_5 von dieser Welle b_3 aus empfängt. Die Bewegung der Welle b_3 erfolgt durch ein der rechten Hand des Beobachters zugängliches Handrad b_6, dessen Bewegungen durch einen Kettentrieb b_7 auf diese Welle übertragen werden. Der Tiefenschlitten C_1 wird durch zwei Gewindespindeln c_1 und c_2 verschoben, von denen die linke Spindel c_1 ihre Bewegung durch ein zur linken Seite des Beobachters angeordnetes Handrad c_3 erhält, das durch einen Kettentrieb c_4 mit dieser Spindel gekuppelt ist, während die rechte Spindel c_2 von der linken Spindel aus durch zwei Kegelräderpaare c_5 und c_6 sowie eine Welle c_7 angetrieben wird.

Die zwangläufige Verbindung des Kreuzschlittensystems A_1, B_1, C_1 mit dem Stereokomparator *A, B, C, D* ist durch ein Hebelsystem hergestellt, das bei den drei Ausführungsformen *A, B* und *C* des Stereoautographen verschieden ist und das bei jeder Ausführungsform gesondert besprochen werden soll. In jedem Falle sind die

Tafel I.

Ausführungsform A.

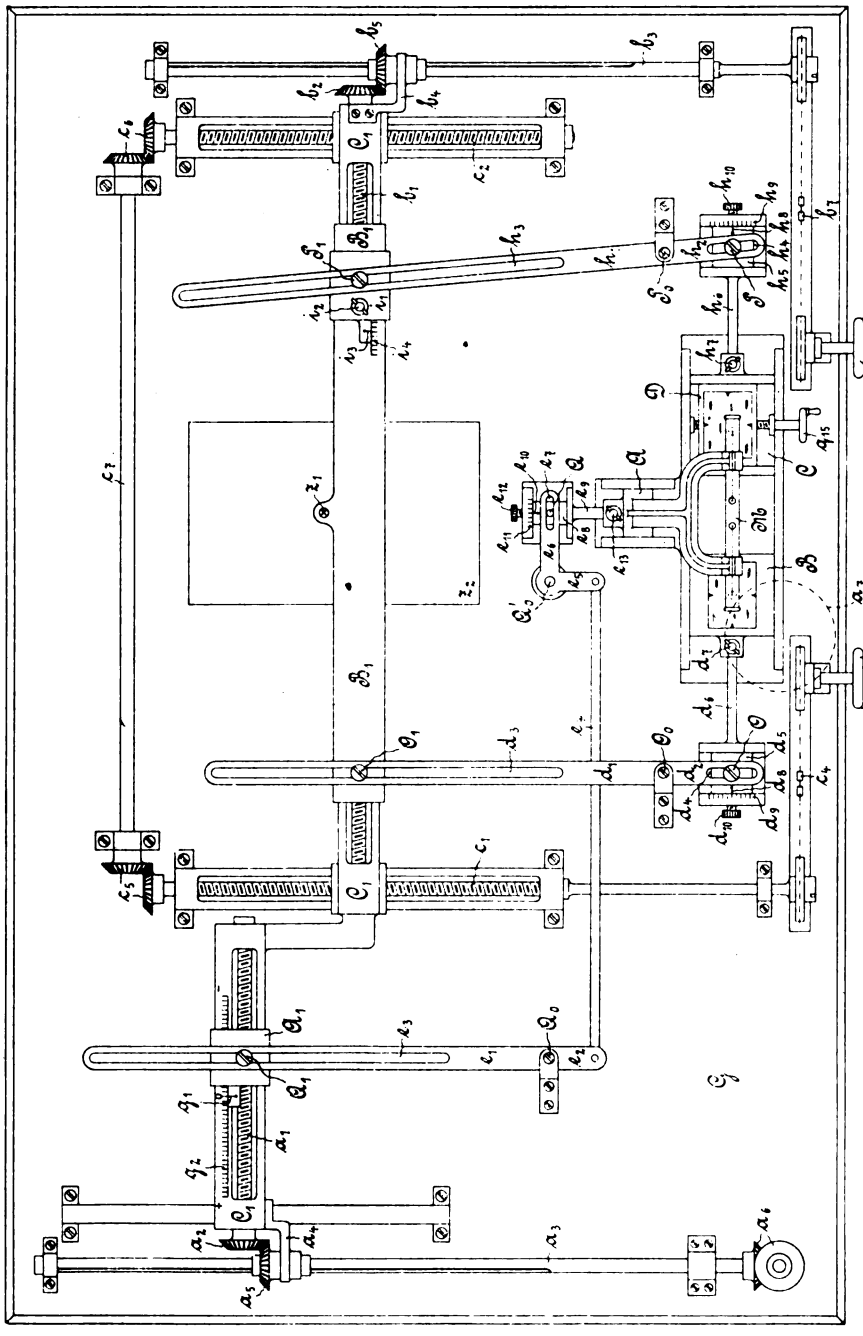


Fig. 10.

Tafel II.

Ausführungsform B.

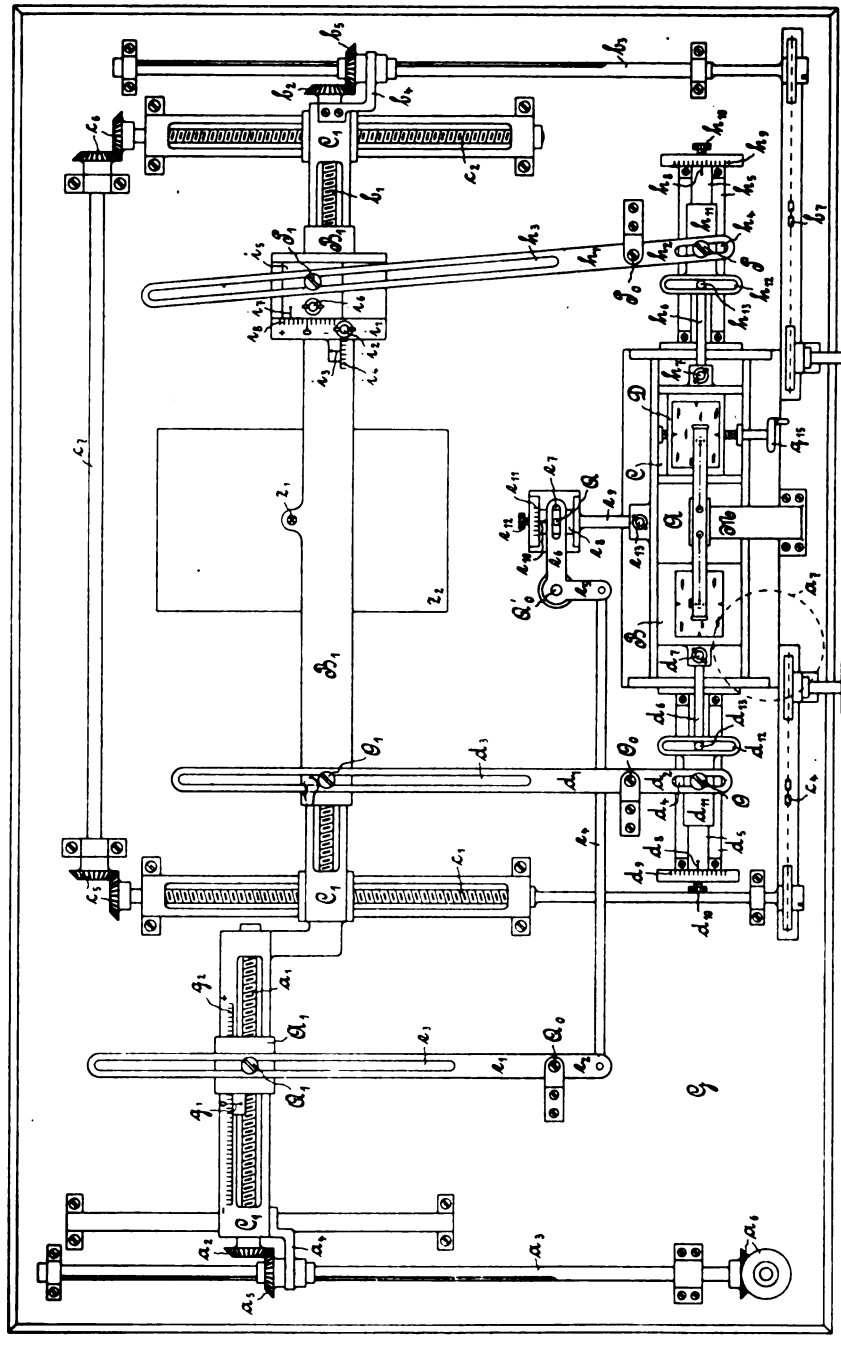


Fig. 11.

Tafel III.

Ausführungsform C.

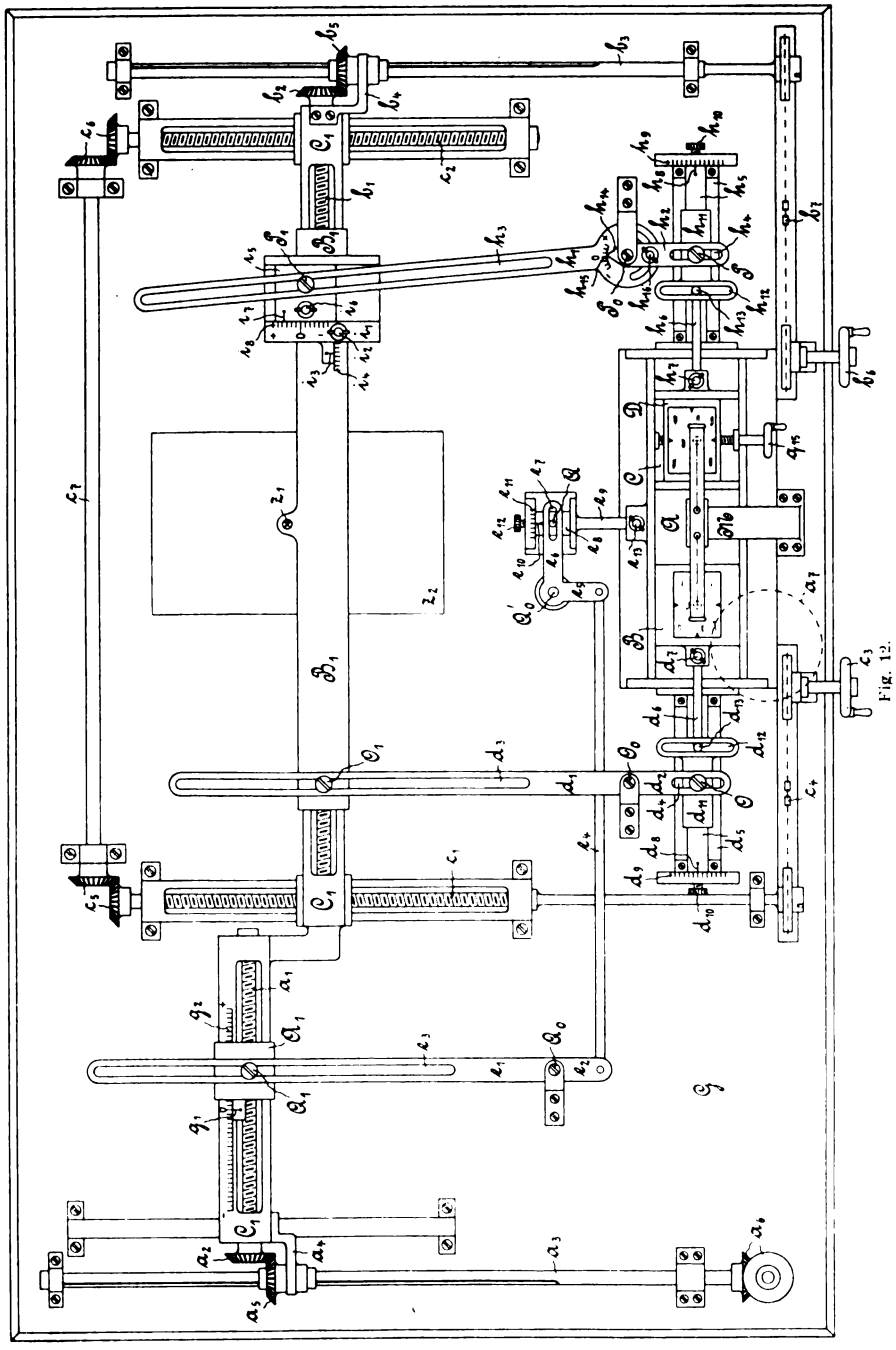


Fig. 12.

zwischen den Raumkoordinaten eines Objektpunktes und den Plattenkoordinaten der entsprechenden Objektbilder bestehenden, oben abgeleiteten Beziehungen aufrechtzuerhalten. Es hat sich herausgestellt, daß es im allgemeinen genügt, wenn durch den Stereoautographen die drei zwischen den Raumkoordinaten X_1, Y_1 und Z_1 und den Plattenkoordinaten x_1, y_1 und x_2 bestehenden Beziehungen selbsttätig aufrechterhalten werden, und wenn dabei die gleiche gegenseitige Verstellung, die die linke Bildplatte in ihrer Höhenrichtung gegenüber dem Mikroskop erfährt, zwangläufig auch für die rechte Bildplatte vorgesehen wird. Dann muß der rechten Bildplatte in ihrer Höhenrichtung noch eine Verstellung von Hand um $y_2 - y_1$ erteilt werden, eine Verstellung, die lediglich zur Erhaltung des stereoskopischen Effektes dient und nur dann vorgenommen werden muß, wenn $y_2 - y_1 > 0{,}1$ mm.

A. Handantrieb des Vertikalparallaxenschlittens D.

a) Ausführungsform A für den erweiterten Normalfall.

(D. R. P. 262 499 vom 20. Dezember 1910.)

Bei dieser Ausführungsform des Stereoautographen sind die durch die folgenden Gleichungen ausgedrückten Beziehungen selbsttätig aufrechtzuerhalten:

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Ib)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IIb)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 \cdot b\cos\varepsilon}{Z_1} \qquad \text{IIIb)}$$

Das das Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1 mit dem Stereokomparator verbindende Hebelsystem ist zu dem Zweck wie aus Fig. 10 (Tafel I) ersichtlich ausgebildet. In dieser Figur liegt für den Stereokomparator der Sonderfall vor, daß der Schlitten A das Mikroskop M trägt und daß die Schlitten B und C nebeneinander auf einer gemeinsamen Führung gleiten.

Damit die Gleichung Ib beim Kopieren selbsttätig erfüllt wird, sind die Schlitten B_1 und B durch einen Doppelhebel d_1, d_2 miteinander verbunden, der um eine Achse O_0 auf der Grundplatte G drehbar angeordnet ist. Die beiden Arme d_1 und d_2 des Doppelhebels sind von verschiedener Länge und schließen einen Winkel von 180° miteinander ein. Der lange Arm d_1 greift mit einem Schlitz d_3 an einem Mitnehmer O_1 des Schlittens B_1 an. Die von der Einstellung des Schlittens C_1 abhängige, in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes dieses Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 ist gleich der im Kopiermaßstab gemessenen Koordinate Z_1 des jeweils durch den Zeichenstift z_1 auf dem Zeichenbrett z_2 angegebenen Objektpunktes. Der kurze Arm d_2 greift mit einem Schlitz d_4 an einem Mitnehmer O eines Schlittens d_5 an, der auf einem Schieber d_6 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet ist. Dieser Schieber d_6 bildet einen Teil des Schlittens B und ist für Justierzwecke gegenüber diesem Schlitten in der Breitenrichtung einstellbar angeordnet, wobei eine Klemmschraube d_7 vorgesehen ist, durch die der Schieber auf dem Schlitten B festgestellt werden kann. Ein Zeiger d_8 des Schlittens d_5 zeigt an einer Skala d_9 des Schiebers d_6 die jeweils eingestellte Komponente des Abstandes des Mitnehmers O von der Drehachse O_0 in der Tiefenrichtung an, die gleich der Brennweite f der Aufnahmeobjektive sein muß. Eine Klemmschraube d_{10} dient zum Feststellen des Schlittens d_5 auf dem Schieber d_6. Wenn im Stereokomparator ein

Bildpunkt mit der Abszisse $x_1 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel d_1, d_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel der Tiefenrichtung ist. In diesem Falle gibt der Zeichenstift z_1 auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $X_1 = 0$ an.

Damit die Gleichung IIb beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, ist zwischen den Schlitten A_1 und A die folgende Verbindung vorgesehen. Auf der Grundplatte G ist um eine Achse Q_0 ein Doppelhebel mit zwei verschieden langen Armen e_1 und e_2 drehbar gelagert, die einen Winkel von 180^0 miteinander einschließen. Der lange Arm e_1 greift mit einem Schlitz e_3 an einem Mitnehmer Q_1 des Schlittens A_1 an, der von der Drehachse Q_0 einen Abstand hat, dessen Komponente in der Tiefenrichtung gleich der entsprechenden Komponente (Z_1) des Abstandes des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 des Doppelhebels d_1, d_2 ist, während der kurze Arm e_2 mittels einer Stange e_4 an dem einen Arm e_5 eines Winkelhebels angreift, der auf der Grundplatte G um eine Achse Q'_0 drehbar gelagert ist, die mit der Drehachse Q_0 des Doppelhebels e_1, e_2 in einer die Breitenrichtung enthaltenden Ebene liegt. Der Arm e_5 des Winkelhebels ist von der gleichen Länge wie der Arm e_2 des Doppelhebels, und ist diesem Arm parallel. Er schließt mit dem anderen Arm e_6 des Winkelhebels einen Winkel von 90^0 ein. Dieser Arm e_6 greift mit einem Schlitz e_7 an einem Mitnehmer Q eines Schlittens e_8 an, der auf einem Schieber e_9 in der Breitenrichtung einstellbar angeordnet ist. Dieser Schieber e_9 bildet einen Teil des Schlittens A und ist für Justierzwecke gegenüber diesem Schlitten in dessen Verschiebungsrichtung einstellbar. Ein Zeiger e_{10} des Schlittens e_8 zeigt an einer Skala e_{11} des Schiebers e_9 die jeweils eingestelle Komponente des Abstandes des Mitnehmers Q von der Drehachse Q'_0 in der Breitenrichtung an, die gleich der Brennweite f der Aufnahmeobjektive sein muß. Eine Klemmschraube e_{12} dient zum Feststellen des Schlittens e_8 auf dem Schieber e_9, und eine zweite Klemmschraube e_{13} zum Feststellen des Schiebers e_9 auf dem Schlitten A. Ein Zeiger g_1 des Schlittens A_1 zeigt an einer Skala g_2 des Schlittens C_1 den im Kopiermaßstab gemessenen Längenwert der Koordinate Y_1 des jeweils durch den Zeichenstift z_1 auf dem Zeichenbrett z_2 angegebenen Objektpunktes an. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Koordinate $y_1 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel e_1, e_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel der Tiefenrichtung ist. Dann ist der Arm e_6 des Winkelhebels e_5 parallel der Breitenrichtung, der Zeiger g_1 zeigt an der Skala g_2 auf Null und der Zeichenstift z_1 gibt auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $y_1 = 0$ an.

Damit endlich die Gleichung IIIb beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, sind die Schlitten B_1 und C durch einen Doppelhebel h_1, h_2 miteinander verbunden, der auf der Grundplatte G um eine Achse P_0 drehbar gelagert ist, die mit der Drehachse O_0 des Doppelhebels d_1, d_2 in einer die Breitenrichtung enthaltenden Ebene liegt. Die beiden Arme h_1 und h_2 des Doppelhebels sind von verschiedener Länge und schließen einen Winkel von 180^0 miteinander ein. In einen Schlitz h_3 des langen Armes h_1 greift ein Mitnehmer P_1 ein, der von der Drehachse P_0 einen Abstand hat dessen Komponente in der Tiefenrichtung gleich der entsprechenden Komponente (Z_1) des Abstandes des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 des Doppelhebels d_1, d_2 also auch gleich der entsprechenden Komponente des Abstandes des Mitnehmers Q_1 von der Drehachse Q_0 des Doppelhebels e_1, e_2 ist. Der Mitnehmer P_1 gehört einem Schlitten A_1 an, der auf dem Schlitten B_1 in der Breitenrichtung

einstellbar angeordnet ist und durch eine Klemmschraube i_2 auf diesem Schlitten festgestellt werden kann. Ein Zeiger i_3 des Schlittens i_1 zeigt an einer Skala i_4 des Schlittens B_1 denjenigen Wert an, um den der Schlitten i_1 aus seiner Nullstellung verschoben ist. Diese Verschiebung muß, entsprechend der Gleichung IIIb, den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b \cos \varepsilon$ annehmen. Dabei ist die Nullstellung dadurch bestimmt, daß, wenn gleichzeitig $X_1 = 0$ (wenn also der Doppelhebel d_1, d_2 parallel der Tiefenrichtung ist) und $b \cos \varepsilon = 0$ ist, der Doppelhebel h_1, h_2 parallel zur Tiefenrichtung sein muß. Der Richtungssinn der Verschiebung ergibt sich daraus, daß für $b \cos \varepsilon > 0$ der Abstand des Mitnehmers P_1 von dem Mitnehmer O_1 kleiner sein muß als für $b \cos \varepsilon = 0$. Der kurze Arm h_2 des Doppelhebels h_1, h_2 greift mit einem Schlitz h_4 an einem Mitnehmer P eines Schlittens h_5 an, der auf einem Schieber h_6 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet ist. Dieser Schieber h_6 bildet einen Teil des Schlittens C und ist für Justierzwecke gegenüber diesem Schlitten in der Breitenrichtung einstellbar angeordnet, wobei eine Klemmschraube h_7 zur Feststellung des Schiebers h_6 auf dem Schlitten C vorgesehen ist. Ein Zeiger h_8 des Schlittens h_5 zeigt an einer Skala h_9 des Schiebers h_6 die jeweils eingestellte Komponente des Abstandes des Mitnehmers P von der Drehachse P_0 in der Tiefenrichtung an, die gleich der Brennweite f der Aufnahmeobjektive sein muß. Zum Feststellen des Schlittens h_5 auf dem Schieber h_6 dient eine Klemmschraube h_{10}. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Abszisse $x_2 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel h_1, h_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel zur Tiefenrichtung ist.

Um den Schlitten D des Stereokomparators von Hand entsprechend $y_2 - y_1$ einstellen zu können, ist ein Handrad q_{15} angeordnet.

In Fig. 10 (Tafel 1) sind im Stereokomparator die Marken des Mikroskops M auf die Bilder eines Objektivpunktes eingestellt, deren Koordinaten die Werte haben

$$x_1 = 0, \; y_1 = 0, \; x_2 = \frac{b f \cos \varepsilon}{Z_1}, \; y_2 = \frac{b f \sin \varepsilon}{Z_1}.$$

Der Zeichenstift z_1 gibt demzufolge auf dem Zeichenbrett z_2 den diesen Bildern entsprechenden Objektpunkt an mit den Koordinaten

$$X_1 = 0, \; Y_1 = 0, \; Z_1 > 0.$$

d. h. dieser Objektpunkt liegt in der linken Objektivachse im Abstand Z_1 vom optischen Mittelpunkt des linken Objektivs.

Beim Gebrauch des Apparates müssen sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Zum Aufzeichnen beliebiger Linien des aus den Bildplatten zu entnehmenden Objektes sind die Fußscheibe a_7, sowie die Handräder b_6 und c_8 gleichzeitig zu betätigen, während am Handrad q_{15} nur von Zeit zu Zeit nachzustellen ist. Zum Aufzeichnen von Höhenschichtenlinien ist die Fußscheibe a_7 so lange zu bewegen, bis an der Skala g_2 durch den Zeiger g_1 die der jeweils gewünschten Höhenschichtenlinie entsprechende Höhe Y_1 (im Kopiermaßstab gemessen) angezeigt wird. Alsdann sind zum Aufzeichnen nur die Handräder b_6 und c_8 zu benützen, wobei wiederum die zur Erhaltung des stereoskopischen Effektes erforderliche, gelegentliche Nachstellung des Handrades q_{15} vorzunehmen ist.

3. Ausführungsform *B* für den Fall gleichmäßig verschwenkter Objektivachsen.

D. R. P. 281269 vom 25. Dezember 1913.

Bei dieser Ausführungsform des Stereoautographen sind die durch die folgenden Gleichungen ausgedrückten Beziehungen selbsttätig aufrechtzuerhalten.

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Ic}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IIc}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 - b\cos\alpha\cos\varepsilon}{Z_1 - b\sin\alpha\cos\varepsilon}. \qquad \text{IIIc}$$

Da die Gleichungen Ic und IIc mit den Gleichungen Ib und IIb übereinstimmen, macht sich gegenüber der Ausführungsform *A* des Stereoautographen nur eine Änderung der Verbindung der Schlitten B_1 und C nötig. Diese Änderung soll an Hand der Fig. 11 Tafel II) beschrieben werden, in der für den Stereokomparator der Sonderfall vorliegt, daß der Schlitten A die beiden Bildplatten trägt, daß also das Mikroskop *M* auf der Grundplatte G fest angeordnet ist, und daß die Schlitten B und C nebeneinander auf einer gemeinsamen Führung gleiten.

Die Gleichung IIIc unterscheidet sich von der Gleichung IIIb dadurch, daß das für ein bestimmtes Bildplattenpaar unveränderliche Zusatzglied des Zählers der rechten Seite statt des Wertes $b\cos\varepsilon$ den Wert $b\cos\alpha\cos\varepsilon$ hat, und daß auch der Nenner der rechten Seite ein für ein bestimmtes Bildplattenpaar unveränderliches Zusatzglied enthält. Demgemäß muß die Verschiebung des Schlittens i_1 aus seiner Nullstellung den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b\cos\alpha\cos\varepsilon$ erhalten, und es muß ferner der Mitnehmer P_1 gegenüber dem Schlitten B_1 auch noch in der Tiefenrichtung einstellbar sein. Zu diesem Zweck ist er auf einem Schlitten i_5 angebracht, der auf dem Schlitten i_1 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet ist und gegenüber diesem Schlitten mittels einer Klemmschraube i_6 festgestellt werden kann. Ein Zeiger i_7 des Schlittens i_5 zeigt an einer Skala i_8 des Schlittens i_1 denjenigen Wert an, um den der Schlitten i_5 aus seiner Nullstellung verschoben ist. Diese Verschiebung muß, entsprechend der Gleichung IIIc, den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b\sin\alpha\cos\varepsilon$ haben. Die Nullstellung ist dadurch bestimmt, daß für $b\sin\alpha\cos\varepsilon = 0$ der Abstand des Mitnehmers P_1 von der Drehachse P_0 dieselbe Komponente (Z_1) in der Tiefenrichtung haben muß, wie der Abstand des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0. Der Richtungssinn der Verschiebung ist dadurch bestimmt, daß für positive Werte von $b\sin\alpha\cos\varepsilon$ der Abstand des Mitnehmers P_1 von der Drehachse P_0 größer sein muß, als für $b\sin\alpha\cos\varepsilon = 0$. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Koordinate $x_2 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel h_1, h_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel der Tiefenrichtung ist.

Außerdem machen sich gegenüber Fig. 10 (Tafel I) mit Rücksicht darauf, daß der Schlitten A des Stereokomparators abweichend von der in dieser Figur beschriebenen Anordnung die beiden Bildplatten trägt, noch die folgenden Änderungen nötig. Da die Verschiebung des Schlittens *A* ihr Vorzeichen geändert hat, muß die Skala g_2 des Schlittens C_1 entgegengesetzt gerichtet sein. Da die Schlitten B und C an der Bewegung des Schlittens *A* teilnehmen, müssen sie folgendermaßen mit den kurzen Armen d_2 und h_2, der Doppelhebel d_1, d_2 und h_1, h_2 verbunden werden. Der Schlitten d_5

wird auf der Grundplatte G verschieblich angeordnet, und die zu seinem Zeiger d_8 gehörende Skala d_9 wird auf der Grundplatte aufgetragen. Die Klemmschraube d_{10} dient zum Feststellen des Schlittens d_5 auf der Grundplatte. Der Mitnehmer O sitzt auf einem Schlitten d_{11}, der auf dem Schlitten d_5 in der Breitenrichtung verschieblich angeordnet ist und eine quer gerichtete Kulisse d_{12} trägt, in die der Schieber d_6 des Schlittens B mit einem Zapfen d_{13} eingreift. Entsprechend wird auch der Schlitten h_5 auf der Grundplatte G verschieblich angeordnet, und die Skala h_9 auf der Grundplatte aufgetragen. Die Klemmschraube h_{10} dient zum Feststellen des Schlittens h_5 auf der Grundplatte. Der Mitnehmer P sitzt auf einem Schlitten h_{11}, der auf dem Schlitten h_5 in der Breitenrichtung verschieblich angeordnet ist und eine quer gerichtete Kulisse h_{12} trägt, in die ein Zapfen h_{13} des Schiebers h_6 eingreift.

In der Figur sind im Stereokomparator die Marken des Mikroskops M auf die Bilder eines Objektpunktes eingestellt, deren Koordinaten die Werte haben

$$x_1 = 0,\ y_1 = 0,\ x_2 = \frac{b \cdot f \cdot \cos\alpha \cos\varepsilon}{Z_1 + b \sin\alpha \cos\varepsilon},\ y_2 = -\frac{b \cdot f \cdot \sin\varepsilon}{Z_1 + b \sin\alpha \cos\varepsilon}.$$

Der Zeichenstift z_1 gibt demzufolge auf dem Zeichenbrett z_2 den diesen Bildern entsprechenden Objektpunkt an mit den Koordinaten

$$X_1 = 0,\ Y_1 = 0,\ Z_1 > 0,$$

d. h. dieser Objektpunkt liegt in der linken Objektivachse im Abstand Z_1 vom optischen Mittelpunkt des linken Objektivs.

Beim Gebrauch des Apparates müssen sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung stimmt mit der bei der Ausführungsform A angegebenen überein.

c) Ausführungsform C für den Fall konvergenter (divergenter) Objektivachsen.

(D. R. P. 281369 vom 25. Dezember 1913).

Bei dieser Ausführungsform des Stereoautographen sind die durch die folgenden Gleichungen ausgedrückten Beziehungen selbsttätig aufrechtzuerhalten.

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Id)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IId)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b \cos\varepsilon \cos(\alpha + \gamma)}{X_1 \sin\gamma + Z_1 \cos\gamma + b \cos\varepsilon \sin(\alpha + \gamma)}. \qquad \text{IIId)}$$

Vergleicht man diese Gleichungen mit den der Ausführungsform B des Stereautographen zugrunde liegenden, so ergibt sich auch hier wieder nur eine Abweichung der Gleichung IIId von der Gleichung IIIc. Es ist also gegenüber der Ausführungsform B (Fig. 11, Tafel II) nur eine Änderung der Verbindung der Schlitten B_1 und C erforderlich, wenn, wie vorausgesetzt sein soll, ein Stereokomparator von gleicher Ausbildung wie in Fig. 11 Verwendung findet. Die Änderung wird aus Fig. 12 (Tafel III) ersichtlich. Sie besteht darin, daß die Arme h_1 und h_2 des Doppelhebels h_1, h_2 in ihrer Drehebene gegeneinander einstellbar gemacht werden. Damit die Gleichung IIId erfüllt wird, sind die Schlitten h_5, i_1 und i_5 wie bei der Ausführungsform B einzustellen,

so daß also der Zeiger h_8 an der Skala h_9 den Wert f, der Zeiger i_3 an der Skala i_4 den Wert $b \cos\alpha \cos\varepsilon$, und der Zeiger i_7 an der Skala i_8 den Wert $b \sin\alpha \cos\varepsilon$ anzeigt, die beiden letzten Werte dabei im Kopiermaßstab gemessen. Ferner sind die Arme h_1 und h_2 so gegeneinander einzustellen, daß sie, vom langen Arm h_1 aus im Uhrzeigersinn gerechnet, den Winkel $180 + \gamma$ miteinander einschließen. Dabei wird der Winkel γ durch einen Zeiger h_{14} des Armes h_2 an einer im Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung h_{15} des Armes h_1 angezeigt. Eine Klemmschraube h_{16} dient dazu, die beiden Arme gegeneinander festzustellen. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Abszisse $x_2 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel h_1, h_2 in seiner Nullstellung befinden, in der sein Arm h_2 parallel zur Tiefenrichtung, und sein Arm h_1 um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigt ist.

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung der Schlitten h_5, i_1 und i_5 die Gleichung IIId richtig erfüllt wird, folgt aus Fig. 13. Darin ist der Doppelhebel h_1, h_2 in vier Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten Y_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $X_1 = -b \cos\alpha \cos\varepsilon$. Die durch schwach gestrichelte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $X_1 = 0$. Die durch stark gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Doppelhebels, die der Einstellung eines Objektpunktes entspricht, zu dem die Plattenkoordinate $x_2 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate X_1 und der zugehörigen Plattenkoordinate x_2. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von P_1' und P_1'''' Senkrechte auf $P_0 P_1'''$ fällt, und wenn man ferner durch P_1' zu $P_0 P_1'''$ eine Parallele zieht:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x_2}{f} = \frac{\overline{P_1''''}\,b}{\overline{P_0 b}}$$

$$= \frac{\overline{P_1''''}\,c - b\,c}{\overline{P_0 a} + \overline{a b}} = \frac{\overline{P_1''''}\,c - \overline{P_1' a}}{\overline{P_0 a} + \overline{P_1' c}}$$

$$= \frac{(X_1 + b\cos\alpha\cos\varepsilon)\cos\gamma - (Z_1 + b\sin\alpha\cos\varepsilon)\sin\gamma}{(Z_1 + b\sin\alpha\cos\varepsilon)\cos\gamma + (X_1 + b\cos\alpha\cos\varepsilon)\sin\gamma}$$

$$= \frac{X_1\cos\gamma - Z_1\sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1\sin\gamma + Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)}.$$

was zu beweisen war.

In Fig. 12 (Tafel III) sind im Stereokomparator die Marken des Mikroskops M auf die Bilder eines Objektpunktes eingestellt, deren Koordinaten die Werte haben

$$x_1 = 0,\ y_1 = 0,\ x_2 = 0,\ y_2 = -f\frac{\sin\gamma\operatorname{tg}\varepsilon}{\cos\alpha}.$$

Der Zeichenstift z_1 gibt demzufolge auf dem Zeichenbrett z_2 den diesen Bildern entsprechenden Objektpunkt an mit den Koordinaten

$$X_1 = 0,\ Y_1 = 0,\ Z_1 = \frac{b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{\sin\gamma}.$$

d. h. dieser Objektpunkt ist der Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene.

Beim Gebrauch des Apparates müssen sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung stimmt mit der bei der Ausführungsform *A* angegebenen überein.

Selbsttätiger Antrieb des Vertikalparallaxenschlittens D.

Bei den beschriebenen Ausführungsformen *A*, *B* und *C* des Stereoautographen ist die zum Zweck der Erhaltung des stereoskopischen Effektes erforderliche Nachstellung des Schlittens *D* des Stereokomparators dem Kopisten überlassen. Wenn auch im allgemeinen die gelegentliche Nachstellung dieses Schlittens von Hand genügt, vorausgesetzt, daß, wie bei diesen Ausführungsformen vorgesehen ist, der Schlitten *A* eine gleichzeitige Verstellung beider Bildplatten gegenüber dem Mikroskop *M* um den Betrag y_1 bewirkt, so ist es doch, um die Bedienung des Apparates zu vereinfachen, empfehlenswert, wenn der Schlitten *D* selbsttätig eingestellt wird. Vorteilhaft wird dabei das Mikroskop fest angeordnet und dem Schlitten *A* nur die Einstellung der linken Bildplatte übertragen, so daß dann also die Ausführungsform des Stereokomparators nach Fig. 9 vorliegt. Die geforderte selbsttätige Einstellung des Schlittens *D* ist dann an die Bedingung geknüpft, daß im Falle der Ausführungsform *A* (unter der Voraussetzung, daß statt der in Fig. 10, Tafel I, benutzten Ausführungsform des Stereokomparators die durch Fig. 9 dargestellte Ausführungsform Verwendung findet) noch die Gleichung IVb, im Falle der Ausführungsform *B* noch die Gleichung IVc, und im Falle der Ausführungsform *C* noch die Gleichung IVd selbsttätig aufrechterhalten wird. Dies kann in jedem Falle durch eine geeignete Verbindung des Schlittens A_1 mit dem Schlitten *D* erzielt werden. Eine entsprechende Konstruktion hat 1913 v. Orel in einer Eingabe an die Firma Carl Zeiss für den Fall der Ausführungsformen *A* und *B* angegeben, und ebenfalls 1913 hat Verfasser auch für die Ausführungsform *C* eine geeignete Lösung gefunden. Es soll hier nur die entsprechende Ausgestaltung der Ausführungsform *C* beschrieben werden, aus der sich die beiden anderen Lösungen leicht ableiten lassen.

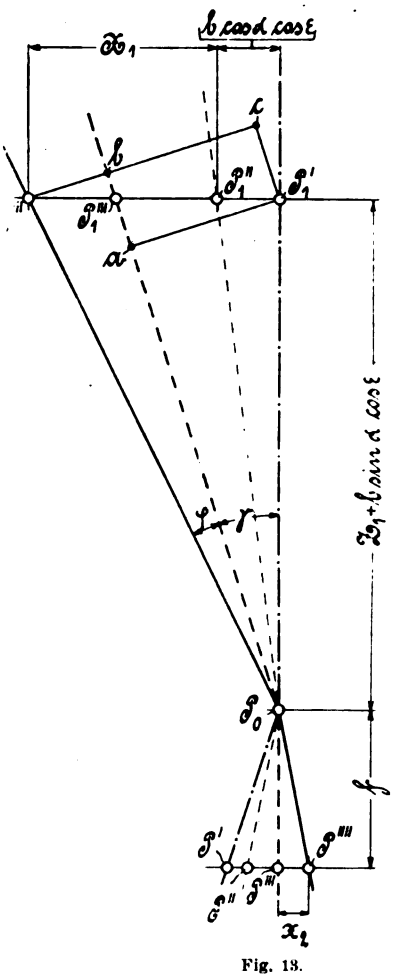


Fig. 13.

Ausführungsform *D* für den Fall konvergenter (divergenter) Objektivachsen.

(D. R. P. 312973 vom 7. Juli 1914.)

Bei dieser Ausführungsform des Stereoautographen sind die durch die folgenden Gleichungen ausgedrückten Beziehungen selbsttätig aufrechtzuerhalten:

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \qquad \text{Id)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \qquad \text{IId)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1 \sin\gamma + Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)} \qquad \text{IIId)}$$

$$\frac{y_2}{f} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{X_1\sin\gamma + Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)} \qquad \text{IVd)}$$

Um die Gleichung IVd zur mechanischen Umsetzung geeignet zu machen, werden ihre Nenner durch $\cos\gamma$ dividiert[1]). Dann entsteht die Gleichung

$$\frac{y_2}{\frac{f}{\cos\gamma}} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{X_1\operatorname{tg}\gamma + Z_1 + \frac{b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)}{\cos\gamma}} \qquad \text{IVe)}$$

Die Ausführungsform wird aus Fig. 14 (Tafel IV) ersichtlich, in der für den Stereokomparator der in Fig. 9 dargestellte Sonderfall vorliegt. Gegenüber Fig. 12 (Tafel III) macht sich nur diejenige Änderung erforderlich, die zum Zwecke der selbsttätigen Aufrechterhaltung der Gleichung IVe getroffen werden muß. Diese Änderung besteht darin, daß der Schlitten A_1 mit dem Schlitten D durch einen Doppelhebel j_1, j_2 verbunden ist, der auf der Grundplatte G um eine Achse R_0 drehbar gelagert ist, die mit der Drehachse Q_0 des Doppelhebels e_1, e_2 in einer die Breitenrichtung enthaltenden Ebene liegt. Die beiden Arme j_1 und j_2 des Doppelhebels sind von verschiedener Länge und schließen einen Winkel von 180° miteinander ein. In einen Schlitz j_3 des langen Armes j_1 greift ein Mitnehmer R_1 ein, der auf dem oberen Schlitten eines auf dem Schlitten A_1 angeordneten Kreuzschlittensystems angebracht ist, dessen unterer Schlitten k_1 auf dem Schlitten A_1 in der Breitenrichtung einstellbar angeordnet ist und gegenüber diesem Schlitten durch eine Klemmschraube k_2 festgestellt werden kann. Ein Zeiger k_3 des Schlittens k_1 zeigt an einer Skala k_4 des Schlittens A_1 denjenigen Wert an, um den der Schlitten k_1 aus seiner Nullstellung verschoben ist. Diese Verschiebung muß, entsprechend der Gleichung IVe, den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b\sin\varepsilon$ haben. Die Nullstellung ist dadurch bestimmt, daß für $b\sin\varepsilon = 0$ der Doppelhebel j_1, j_2 parallel dem Doppelhebel e_1, e_2 sein muß. Der Richtungssinn der Verschiebung ergibt sich daraus, daß bei positivem $b\sin\varepsilon$ der Abstand des Mitnehmers R_1 von dem Mitnehmer Q_1 kleiner sein muß als für $b\sin\varepsilon = 0$. Der obere Schlitten k_5 des Kreuzschlittensystems ist auf dem unteren Schlitten k_1 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet und kann durch eine Klemmschraube k_6 auf dem Schlitten k_1 festgestellt werden. Ein Zeiger k_7 des Schlittens k_5 zeigt an einer Skala k_8 des Schlittens k_1 denjenigen Wert an, um den der Schlitten k_5 aus seiner Nullstellung verschoben ist. Diese Verschiebung muß, entsprechend der Gleichung IVe, den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $X_1\operatorname{tg}\gamma + \frac{b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)}{\cos\gamma}$ haben. Die Nullstellung

[1]) Es ist auch noch ein zweiter Weg gangbar, die Gleichung IVd zur mechanischen Umsetzung geeignet zu machen. Zu dem Zwecke setze man in IVd) für X_1 den aus IIId) folgenden Wert

$$X_1 = \frac{x_2[Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)] + f[Z_1\sin\gamma - b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)]}{f\cos\gamma - x_2\sin\gamma}$$

ein. Dann entsteht die Gleichung

$$\frac{y_2}{f\cos\gamma - x_2\sin\gamma} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{Z_1 + b\sin\alpha\cos\varepsilon} \qquad \text{IVf)}$$

ist dadurch bestimmt, daß, wenn gleichzeitig $X_1 = 0$ und $\frac{b \cos \varepsilon \sin(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma} = 0$ ist, der Mitnehmer R_1 mit dem Mitnehmer Q_1 des Armes e_1 des Doppelhebels e_1, e_2 in einer die Breitenrichtung enthaltenden Ebene liegen muß. Der Richtungssinn der Verschiebung ergibt sich daraus, daß, wenn gleichzeitig $X_1 = 0$ ist und $\frac{b \cos \varepsilon \sin(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}$ einen positiven Wert hat, der Abstand des Mitnehmers R_1 von der Drehachse R_0 größer sein muß als für $\frac{b \cos \varepsilon \sin(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma} = 0$.

Damit während des Kopierens der Mitnehmer R_1 beim Verschieben des Schlittens B_1 in der Breitenrichtung um X_1 die Verschiebung $X_1 \operatorname{tg} \gamma$ in der Tiefenrichtung selbsttätig erfährt, und zwar so, daß der Abstand des Mitnehmers R_1 von der Drehachse R_0 bei positivem $X_1 \operatorname{tg} \gamma$ größer ist als für $X_1 \operatorname{tg} \gamma = 0$, ist die folgende Kuppelung des Mitnehmers R_1 mit dem Schlitten B_1 vorgesehen. Auf dem Schlitten C_1 ist ein Schlitten l längs zweier Führungen l_1 in der Tiefenrichtung verschieblich angeordnet, der einerseits einen der Breitenrichtung parallelen Schlitz l_2 aufweist, in den der Mitnehmer R_1 eingreift, und auf dem anderseits ein Schlitten l_3 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet ist, der durch eine Klemmschraube l_4 mit dem Schlitten l fest verbunden werden kann. Dieser Schlitten l_3 greift mit einem Zapfen l_5 in einen Schlitz l_6 eines Hebels l_7 ein, der um einen Zapfen l_8 des Schlittens B_1 drehbar so gelagert ist, daß die Neigung seines Schlitzes l_6 gegen die Breitenrichtung verändert werden kann. Die jeweils eingestellte Neigung, die gleich dem Winkel γ zu wählen ist, wird durch einen Zeiger l_9 des Hebels l_7 an einer entgegen dem Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung l_{10} des Schlittens B_1 angezeigt. Durch eine Klemmschraube l_{11} kann der Hebel l_7 auf dem Schlitten B_1 festgestellt werden. Damit die Gleichung IVe erfüllt wird, ist die beschriebene Kupplung folgendermaßen einzustellen. Der Hebel l_7 muß in diejenige Lage gebracht werden, in der sein Zeiger l_9 an der Gradteilung l_{10} den Winkel γ anzeigt. Der Schlitten k_1 muß diejenige Stellung einnehmen, in der sein Zeiger k_3 an der Skala k_4 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b \sin \varepsilon$ anzeigt. Der Schlitten B_1 ist in seine Nullstellung zu bringen, in der der Doppelhebel d_1, d_2 parallel der Tiefenrichtung ist. Der Schlitten k_5 ist bei gelöster Klemmschraube l_4 so einzustellen, daß sein Zeiger k_7 an der Skala k_8 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $\frac{b \cos \varepsilon \sin(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}$ anzeigt. Die zwangläufige Verbindung des Schlittens B_1 mit dem Mitnehmer R_1 ist durch Anziehen der Klemmschraube l_4 herzustellen. Die Klemmschraube k_6 muß während des Kopierens gelöst bleiben.

Der kurze Arm j_2 des Doppelhebels j_1, j_2 greift mittels einer Stange j_4 an dem einen Arm j_5 eines Winkelhebels an, der auf der Grundplatte G um eine Achse R_0' drehbar gelagert ist, die mit der Drehachse R_0 des Doppelhebels j_1, j_2 in einer die Breitenrichtung enthaltenden Ebene liegt. Der Arm j_5 des Winkelhebels ist von der gleichen Länge wie der Arm j_2 des Doppelhebels, und ist diesem Arm parallel. Er schließt mit dem anderen Arm j_6 des Winkelhebels den Winkel 90^0 ein. Dieser Arm j_6 greift mit einem Schlitz j_7 an einem Mitnehmer R eines Schlittens j_8 an, der auf einem Schieber j_9 in der Breitenrichtung einstellbar angeordnet ist. Dieser Schieber j_9 bildet einen Teil des Schlittens D und ist für Justierzwecke gegenüber diesem Schlitten in dessen Verschiebungsrichtung einstellbar. Ein Zeiger j_{10} des Schlittens j_8 zeigt an einer Skala j_{11} des Schiebers j_9 die jeweils eingestellte Komponente des Abstandes des Mit-

Tafel IV.

Ausführungsform D.

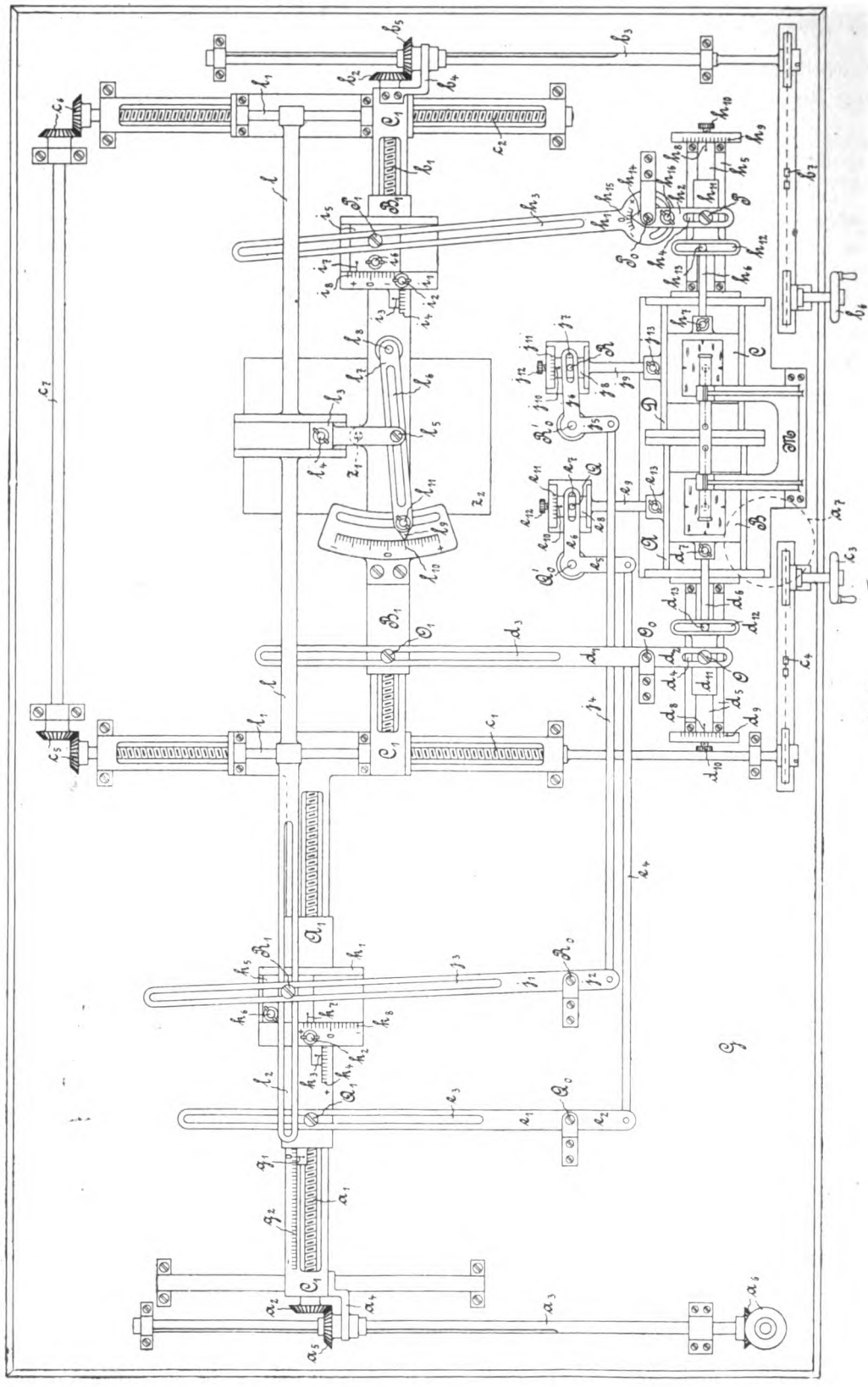


Fig. 14.

nehmers R von der Drehachse R_0' in der Breitenrichtung an, die den Wert $\frac{f}{\cos\gamma}$ haben muß. Eine Klemmschraube j_{12} dient zum Feststellen des Schlittens j_8 auf dem Schieber j_9, und eine zweite Klemmschraube j_{13} zum Feststellen des Schiebers j_9 auf dem Schlitten D. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Ordinate $y_2 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel j_1, j_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel der Tiefenrichtung ist. Dann ist der Arm j_6 des Winkelhebels j_5, j_6 parallel der Breitenrichtung, der Zeiger g_1 zeigt an der Skala g_2 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b \sin\varepsilon$ an, und der Zeichenstift z_1 gibt auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $Y_1 = b \sin\varepsilon$ an.

Eingestellt ist der Apparat wie in Fig. 12 (Tafel III) für den Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene. Beim Gebrauch des Apparates müssen außer der Klemmschraube k_6 sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung gestaltet sich dadurch, daß der Handantrieb des Schlittens D wegfällt, einfacher als bei der Ausführungsform A angegeben ist[1])

Im Falle der Ausführungsform B wäre zum Zwecke der selbsttätigen Einstellung des Schlittens D die Gleichung

$$\frac{y_2}{f} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{Z_1 + b\sin\alpha\cos\varepsilon} \qquad \text{IVc}$$

selbsttätig aufrechtzuerhalten. Dabei müßte der Mitnehmer R_1 wie in Fig. 14 durch das Kreuzschlittensystem k_1, k_5 des Schlittens A_1 einstellbar sein. Die beschriebene Kupplung des Mitnehmers R_1 mit dem Schlitten B_1 wäre nicht erforderlich, da y_2 von X_1 unabhängig ist.

Im Falle der Ausführungsform A wäre zum Zwecke der selbsttätigen Einstellung des Schlittens D die Gleichung

$$\frac{y_2}{f} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{Z_1} \qquad \text{IVb}$$

selbsttätig aufrechtzuerhalten. Da bei dieser Gleichung nur im Zähler der rechten Seite ein unveränderliches Zusatzglied auftritt, so wäre außer der Kupplung des Mitnehmers R_1 mit dem Schlitten B_1 auch noch der in der Tiefenrichtung einstellbare Schlitten k_5 der Fig. 14 entbehrlich. Der Mitnehmer brauchte nur durch den in der Breitenrichtung verschieblichen Schlitten k_1 einstellbar sein.

In diesen beiden Fällen entspricht die Kupplung des Schlittens A_1 mit dem Schlitten D also genau der Kupplung des Schlittens B_1 mit dem Schlitten C, wie aus dem gleichen Aufbau der Gleichungen IVb und IIIb, bzw. IVc und IIIc, von vornherein hätte geschlossen werden können.

---

[1]) Eine der Gleichung IVf entsprechende Ausführungsform würde sich von der soeben behandelten dadurch unterscheiden, daß die beschriebene Kupplung des Mitnehmers R_1 mit dem Schlitten B_1 entfällt und daß an ihre Stelle eine Kupplung des Mitnehmers R mit dem Schlitten C tritt, dergestalt, daß der Mitnehmer beim Verschieben von C um x_2 eine Verschiebung um $x_2 \sin\gamma$ in der entgegengesetzten Richtung erfährt. (Fortsetzung folg.t)

Referate.

Eine neue Methode und ein neues Gerät zur Konstruktion von Perspektiven.

Von Karl Mack. *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **127.** *S. 699—717. 1918.*

Mit Hilfe der projektiven Geometrie wird ein neues Verfahren zur Herstellung von perspektivischen Bildern abgeleitet. Das Verfahren ist verhältnismäßig einfach, beansprucht nur eine kleine Zeichenfläche und vermeidet überdies den Gebrauch des Zirkels. Infolge des Fortfalls des Wechsels zwischen Lineal und Zirkel soll das Verfahren den üblichen Methoden zur Herstellung von perspektivischen Bildern, der Durchschnittsmethode und der freien Perspektive, an Schnelligkeit überlegen sein. Auf Grund des neuen Verfahrens wird ein neuer Perspektograph angegeben, der perspektivische Bilder von Linien, die in ein und derselben Höhenschichte liegen, fortlaufend zu zeichnen erlaubt. Dabei ist die Handhabung dieses Perspektographen eine recht einfache. Kurz angedeutet wird noch, wie konstruktive Abänderungen vorgenommen werden können. Zum Schluß wird dann erwähnt, daß das vorgeschlagene Verfahren zur Konstruktion der Normalrisse eines Reliefs verwendet werden kann, und es wird auf einen Bericht in den „Technischen Blättern", Zeitschrift des deutschen polytechnischen Vereins in Böhmen, 1919, Heft 1 u. 2 verwiesen, der die Verwendungsmöglichkeit der angegebenen Konstruktion in der Photogrammetrie behandelt.

Die Bezugsbuchstaben der Figuren sind leider zu klein gehalten und daher ohne Lupe kaum erkennbar. Bei der Beschreibung der sogenannten Zentrumsvorrichtung wäre ein Hinweis am Platze gewesen, daß sie im wesentlichen mit dem Froschschenkelsystem des Ritterschen Perspektographen übereinstimmt. *W. Sander.*

Verbesserungen in der Sphärometrie.

Von G. W. Moffitt. *Phys. Rev.* **13.** *S. 261. 1919.*

Der für das Untersuchungslaboratorium der Eastman Kodak Company tätige Verf. betont mit Recht, daß es von der größten Bedeutung bei der Herstellung von Linsen ist, ihre Krümmung mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen.

Er bespricht zunächst die mechanischen Einrichtungen, die solchem Zwecke dienen, und verwirft die Ring-Sphärometer mit scharfkantigem oder flachkantigem Ring, weil hier leicht die Messung beeinträchtigende Beschädigungen der Kanten vorkommen können, und spricht sich für den kugelförmigen Rand des Ringes aus in der Form, daß in einer kreisförmigen Nute des Ringes eine Anzahl gleich großer Kugeln von vollkommener Form ruhen. Dazu reichen selbstverständlich drei, sogar zwei Kugeln aus, wie viele in Gebrauch befindliche Sphärometer sie besitzen. Die Formeln, welche er für diese Sphärometer entwickelt, sind auch nicht neu[1]).

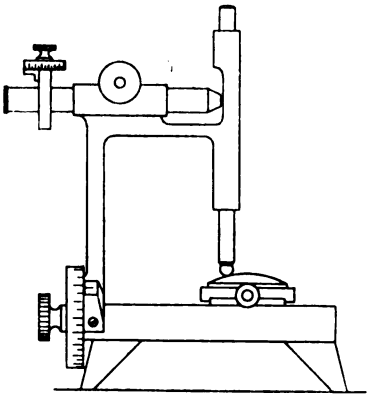
Neu dagegen ist folgende, vom Verf. angegebene Form eines Sphärometers, bei welchem die Linse, deren Oberfläche in bezug auf ihre Krümmung gemessen werden soll, auf einen durch eine Mikrometerschraube mit Meßtrommel verschiebbaren Schlitten ruht und ein Stab mit einer an seinem unteren Ende befindlichen Kugel in Kontakt mit der Linsenoberfläche ist. Die Linse kann durch eine seitliche Schraube gegen die Kugel zentriert werden. Die Höhenstellung des Stabes ist mittels eines Mikroskops ablesbar.

Man sucht zunächst den Punkt, in welchem der Stab bei einer konvexen Krümmung der Linse seine höchste, bei einer konkaven seine tiefste Stellung hat und bewegt nun durch die Meßschraube die Linse, bis die Kugel auf einem Punkt nahe des Randes ruht. Aus den Ablesungen an der Meßschraube und am Mikroskop wird dann der Krümmungsradius berechnet. Die hierfür notwendige Bedingung ist natürlich, daß der Stab in vollkommen sicherer Führung geht und die Linse zur Kugel richtig zentriert ist.

Die Arbeit mit dieser Vorrichtung geht natürlich nicht so schnell wie mit einem Ringmikrometer, man hat aber den Vorteil, durch Messung auf verschiedenen Linsendurchmessern eine Kontrolle zu haben, ferner ist die Kleinheit der Linse nicht wie bei einem Ringmikrometer begrenzt und endlich kann man auch eine Abweichung von der sphärischen Form damit feststellen.

[1]) s. z. B. H. Krüss, Zur Theorie der Sphärometer. *Centralztg. f. Opt. u. Mech.* **12.** *S. 63. 1891.*

Der Verf. beschreibt sodann eine Autokollimationsmethode zur Bestimmung der Linsenkrümmung. Anstatt des Autokollimationsspiegels im Okular des Fernrohres, wie es sonst üblich ist, bringt er diesen Spiegel, um ein besseres Gesichtsfeld zu erhalten, vor dem Objektiv des Fernrohres an und läßt auf den Spiegel ein gleiches Objektiv folgen. Von einer entfernten kleinen Lichtquelle wird Licht auf den Spiegel geworfen und dann die zu prüfende Linse zunächst in solche Entfernung gebracht, daß auf ihrer Oberfläche befindliche Staubteile im Fernrohr scharf gesehen werden. Hierauf wird die Linse an einer Skala verschoben, bis das Bild der Lichtquelle scharf erscheint. Der Unterschied der beiden Linsenstellungen ist offenbar gleich der Länge des Krümmungsradius der Linse.



Diese Methode leidet unter der Unsicherheit, mit welcher die zweimalige Scharfeinstellung eines Bildes immer behaftet ist. Deshalb verbindet der Verf. hiermit die Knotenpunktmethode[1]), indem er die Linse auf einen um eine senkrechte Achse drehbaren Tisch stellt. Bei richtiger Einstellung der Linsenentfernung darf dann bei Drehung der Linse keine seitliche Verschiebung des Bildes gegen das Fadenkreuz stattfinden.

Der Verf. berichtet endlich noch über eine Methode, bei welcher er die Katakaustik der von der zu untersuchenden Fläche reflektierten, parallel auf sie fallenden Strahlen benutzt. Es entstehen dabei bekanntlich zwei Bilder, ein primäres und ein sekundäres, welche durch ein in seiner Achse an einer Teilung verschiebbares, schwach vergrößerndes Mikroskop beobachtet werden. Die Entfernungen dieser beiden Bilder voneinander und von der spiegelnden Fläche stehen in einem konstanten Verhältnis zum Krümmungsradius dieser Fläche. Wegen der schwierigen Einstellung dieser zum Teil unscharfen Bilder scheint diese Methode nicht sehr empfehlenswert zu sein. *H. Krüss.*

Eine neue Vorrichtung zum Farbenausgleich bei photometrischen Messungen.

Von v. Voss, *Zeitschr. f. Beleuchtungsw.* **25.** *S. 53. 1919.*

Zu den vielen Vorschlägen, die gemacht worden sind, um bei photometrischen Messungen verschiedenfarbiger Lichtquellen den äußerst störenden, eine Messung häufig fast unmöglich machenden Farbenunterschied der beiden zur Vergleichung kommenden Flächen des Photomoterfeldes zu beseitigen, fügt der Verf. einen neuen hinzu, der den Vorzug einer prinzipiellen Vollkommenheit besitzt.

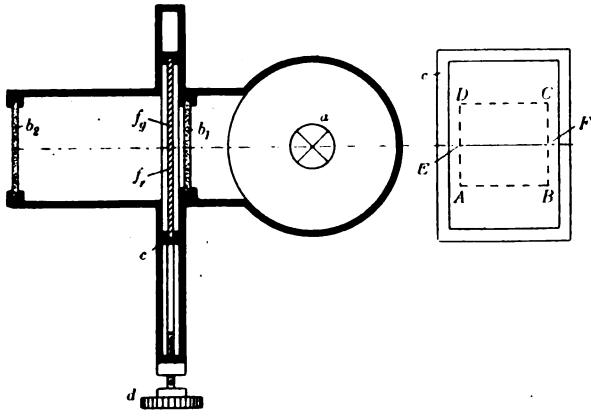
Der Verf. erwähnt einleitend, daß bisher zwei Methoden üblich gewesen sind, den Farbenunterschied zu beseitigen, nämlich einmal die Betrachtung des photometrischen Feldes durch ein Farbfilter und ferner das Vorsetzen eines Farbfilters vor die eine der beiden miteinander zu vergleichenden Lichtquellen, um deren Farbe derjenigen der anderen Lichtquelle ähnlicher zu machen. Die erste Methode schreibt er Pirani zu, während schon lange vorher Crova denselben Gedanken bei der Vergleichung von elektrischen Bogenlampen mit der Carcellampe ausgeführt hat[2]). Dahin gehört auch der etwas andere Vorschlag Macé de Lepinays[3]), durch Benutzung zweier Farbfilter nacheinander zwei Messungen in den beiden Enden des Spektrums zu machen und diese unter Zugrundelegung eines Erfahrungsfaktors zu verbinden. Dasselbe Verfahren schlägt L. Weber bei seinem Milchglasplattenphotometer ein. Und das zweite Verfahren des Vorsetzens eines Filters vor die Vergleichslampe benutzt seit vielen Jahren die Physikalisch-Technische Reichsanstalt mit praktischem Erfolg.

Das Verfahren des Verfassers geht nun darauf hinaus, vor der Vergleichslampe eine Filtervorrichtung anzubringen, bei deren Verstellung wohl die Lichtfarbe, nicht aber die Lichtstärke

[1]) *s. diese Zeitschr.* **38.** *S. 115. 1918 u.* **39.** *S. 163. 1919.*
[2]) *Compt. rend.* **93.** *S. 512. 1881.*
[3]) *Compt. rend.* **97.** *S. 1428. 1883.*

der Vergleichslichtquelle geändert wird. Sein Gedankengang ist kurz der, daß mit steigender Temperatur die relative Menge der kurzwelligen Strahlen bei Temperaturstrahlen auf Kosten der langwelligen stetig zunimmt, so daß man durch zwei Filter, von denen das eine das eine Ende des Spektrums hindurchläßt, das andere Filter das andere Ende diese Veränderung des Farbtons vollständig würde aufheben können. Bringt man die Filter vor der Vergleichslampe an, wie Verf. vorschlägt, so wird man umgekehrt deren Farbton durch verschiedene Inanspruchnahme der beiden Filter stets demjenigen der zu messenden Lampe anpassen können, indem man durch vor die Filter gestellte Blenden die Bedingung erfüllt, daß die Summe der Produkte aus Filterdurchlässigkeit und Blendenöffnung konstant gehalten werden muß. Die beiden Filter bezeichnet er als Rot und Grün.

Es darf hier hervorgehoben werden, daß der Unterzeichnete vor Jahren schon den Gedanken der Benutzung zweier Farbfilter solcher Art ausgesprochen hat[1]), selbst die Bedingungsgleichung $J_g + J_r = J$ findet sich dort schon. Es wurde damals auf die praktische Anwendung verzichtet, weil keine Filter mit den verlangten Eigenschaften zur Verfügung standen, und es verbleibt deshalb dem Verfasser das Verdienst, zum ersten Male diesen Gedanken in die Praxis umgesetzt zu haben. Dabei verfährt er folgendermaßen.



Die Vergleichslampe a ist in einem innen mattweiß gestrichenen zylindrischen Behälter angebracht, an den sich ein Rohr anschließt welches durch die Mattscheibe b_1 geschlossen ist. Die diffuse Reflexion an den Wänden des Behälters bewirkt, daß die Mattscheibe b_1 in ihrer ganzen Fläche mit gleichmäßiger Helligkeit beleuchtet wird. Auf die Mattscheibe b_2 folgen die beiden Farbfilter f_g und f_r, welche in der Mitte des Rahmens c stumpf zusammerstoßen und mit diesem Rahmen durch Drehen einer Bewegungsschraube mittels ihres Knopfes d verschoben werden können. In der Zeichnung besitzen die von den Farbfiltern bedeckten Teile $EFCD$ und $ABFE$ gleiche Flächengröße. Verschiebt man den Rahmen nach oben, so vergrößert sich f_r, während f_g abnimmt, und umgekehrt, wobei aber $f_r + f_g$ stets gleich groß bleibt, nämlich gleich der Fläche der Mattscheibe b_1. Das rote und das grüne Licht mischen sich dann auf der Mattscheibe b_2, wobei die Gleichmäßigkeit der Mischung durch die diffuse Reflexion an den mattweiß gestrichenen Wänden des die Scheibe b_2 haltenden Rohres bewirkt wird.

Zwischen dem reinen Grün und dem reinen Rot kann demgemäß durch Drehen des mit einer Teilung versehenen Knopfes d jeglicher Mischton zwischen Rot und Grün hergestellt werden.

Der Verf. benutzte zunächst Gelatinefilter, die durch Einfärben mit wasserlöslichen Farben hergestellt waren und in bezug auf ihren Absorptionsbereich den gestellten Bedingungen entsprachen. Er machte aber die Erfahrung, daß diese Farbstoffe sich nicht als lichtecht erwiesen und ging deshalb zu Glasfiltern, von Schott u. Gen. über, die zwar nicht so spektralrein sind wie die Gelatinefilter, aber für praktische Zwecke vollkommen genügten.

Bei Lichtquellen, welche in ihrer Farbe wesentlich von der Farbenskala der reinen Temperaturstrahlen abweicht, kommt man mit zwei Farbgläsern nicht aus, sondern muß deren drei — rot, grün und blau — benutzen. Der Verf. zeigt hierfür verschiedene Anordnungen zur Zusammensetzung der drei Filter unter der Bedingung, daß die Gesamtsumme der Filterfläche bei Veränderung der Größe der einzelnen Flächen konstant bleibt.

Bisher ist immer vorausgesetzt, daß die beiden Farbgläser die gleiche Lichtdurchlässigkeit

[1]) *Centralbl. f. Elektrotechnik.* **7.** S. 384. 1885.

haben. Das ist natürlich nicht von vornherein der Fall und muß erst durch Herstellung der richtigen Dicke der Gläser erreicht werden. Es muß zu dem Zwecke zunächst durch spektrophotometrische Messungen die Durchlässigkeit der Filter im sichtbaren Spektrum bestimmt und diese Spektralkurve mit der Wirksamkeitskurve, d. h. der Kurve der physiologischen Wirkung auf das Auge, verbunden werden, um die optisch-physiologische Durchlässigkeit als Größe der von dieser Kurve umschlossenen Fläche zu erhalten. Sind diese Werte für das rote und das grüne Glas P_r und P_g, bei den Dicken der beiden Gläser d_r und d_g, bezeichnet man ferner mit d_r' und d_g' die Dicken des roten und des grünen Glases, welche die gleiche optisch-physiologische Durchlässigkeit haben, so muß sein

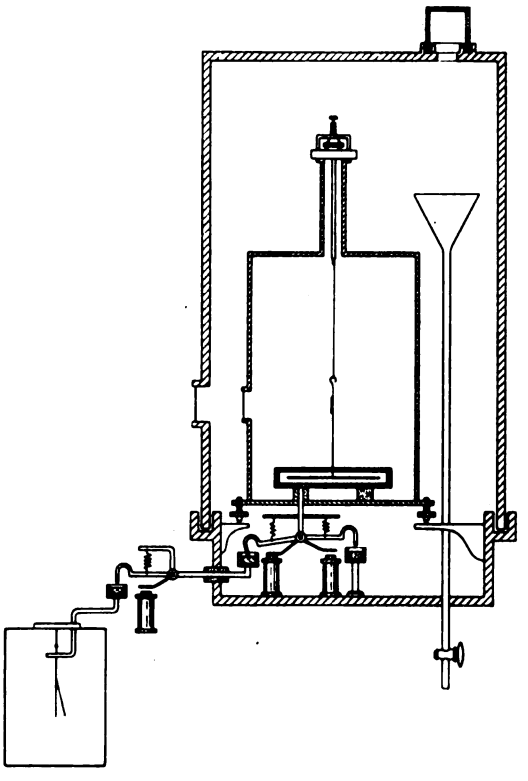
$$\frac{d_r'}{d_g'} = \frac{d_r \lg P_r}{d_g \lg P_g}.$$

Eine wichtige Bedingung für eine einwandfreie Benutzung der Filter ist natürlich die, daß stets diejenige Vergleichslampenart mit derjenigen Temperatur benutzt wird, für welche die Filter spektrophotometrisch unter Berücksichtigung der physiologischen Wirksamkeitskurven abgeglichen ist. Der Verf. schlägt dafür eine normale Wolfram-Drahtlampe mit 1,1 Watt pro Kerze vor deren wahre Fadentemperatur etwa 2670° betragen dürfte. Da der die Filtergläser verstellende Drehknopf d mit einer Teilung versehen ist, so kann nach entsprechender Eichung durch Einstellung auf mit der Vergleichslichtquelle gleichen Farbton die Fadentemperatur der zu messenden Lampe bestimmt werden. Selbstverständlich muß zu photometrischen Messungen die Helligkeit der Mattscheibe b_2 vorher geeicht werden, indem man als zu messende Lampe eine solche von bekannter Lichtstärke benutzt. *H. Krüss.*

Eine Methode zur Messung der Kapazität von Goldblatt-Elektroskopen.

Von A. T. Muckerjee. *Philos. Mag.* **38**. *S. 245. 1919.*

Die Methode beruht darauf, daß zunächst die Kapazität K eines Dolezalek-Elektrometers mit Hilfe eines verschiebbaren Gerdienschen Kondensators nach der Methode der Ladungsteilung bestimmt wird. Darauf wird die Verbindung zum Elektroskop (Kapazität c') auf das Potential V geladen, mit K verbunden und das gemeinsame Potential v durch den Ausschlag des Elektrometers gemessen. Es ist dann $c' = K \cdot v/(V - v)$. Dieselbe Operation wird dann mit dem Blatt-Elektroskop (Kapazität c) und c' zusammen durchgeführt und es ergibt sich dadurch $c + c' = K \cdot v'/(V - v')$. Um die Kapazität des Elektroskopes für verschiedene Blättchen Ausschläge bestimmen zu können, wird K mit Hilfe des Gerdienschen Kondensators so geändert, daß immer brauchbare Ausschläge erhalten werden. Es handelt sich also im Grunde um eine unbedeutende Modifikation der üblichen Methode der Ladungsteilung. Der Hauptvorteil liegt in der Anordnung der Apparate (s. Figur), bei welcher die sonst störenden Isolationsverluste und Nullpunktswanderungen dadurch merklich verbessert sind, daß die Zahl der Isolationsstellen auf zwei verringert (Isolation des einen Quadrantenpaares und für die Durchführung nach außen), und daß alle Elektrometerteile in eine geerdete Metallhülle eingeschlossen sind, die für



die notwendigen Justierungen bequem entfernt und wieder aufgesetzt werden kann. Die nötigen Verbindungen (Quecksilbernäpfe und amalgamierte Stifte), welche von denselben beiden Isolatoren getragen werden, werden elektromagnetisch betätigt. Die Kapazität des Quadrantensystems kann mit einer Genauigkeit von 0,05 elst. E. bestimmt werden, falls auch die angeschlossene Kapazität sich innerhalb des geerdeten Gehäuses befindet, und von 0,6 elst. E., falls sie außerhalb aufgestellt werden muß. Der mittlere Fehler von c ergab sich experimentell zu $\pm$ 0,006 elst. E., die Absolutwerte bei 10, 40, 110 Volt zu 0,71; 0,73; 0,78 elst. E.

Bei der Lesterschen Methode, bei welcher das Blatt-Elektroskop isoliert aufgestellt, sein Gehäuse mit dem Dolezalek-Instrument verbunden und die Ausschläge nach Ladung und Entladung des Elektroskopes beobachtet werden, ergab sich bei sorgfältiger experimenteller Anordnung ein Fehler von $\pm$ 0,015 elst. E. Bei der Barrattschen Methode wird das Potential eines Kondensators beobachtet, nachdem er seine Ladung mehrere Male nacheinander mit dem Elektroskop geteilt hat. Der mittlere Fehler ergab sich bei dieser zu $\pm$ 0,04 elst. E. Die neue Methode ist also diesen beiden in bezug auf Genauigkeit erheblich überlegen. *Berndt.*

Über den Einfluß horizontaler Temperaturschichtung des Seewassers auf die Reichweite von Unterwasserschallsignalen.

Von H. Lichte. *Physikal. Zeitschr. 20. S. 385. 1919.*

Die allgemeine Ansicht, daß das Wasser zur Übermittlung von Schallwellen, wie sie bei den Unterwasserschallsignalen praktisch gebraucht werden, besser geeignet sei als die Luft, ist nicht zutreffend, da die Dichte des Wassers und die Kompressibilität, durch welche die Schallgeschwindigkeit bedingt ist, von einer Reihe von Faktoren — hauptsächlich Temperatur, Salzgehalt und Druck — abhängen. Das Wasser wird deshalb in verschiedenen Horizontalschichten akustisch inhomogen sein, wodurch die Schallstrahlen eine Brechung erleiden. Wie aus der Betrachtung der numerischen Werte folgt, rührt die Änderung der Schallgeschwindigkeit im Wasser infolge von Temperaturunterschieden von einer Änderung seiner Kompressibilität her, während die der Dichte praktisch bedeutungslos ist. Für die Bahn eines ursprünglich horizontalen Schallstrahles ergibt sich bei mit der Tiefe y gleichmäßiger Temperaturabnahme die Gleichung $y = -10^{-8} \cdot x^2 \cdot dT/dy$ (x die Entfernung von der Schallquelle). Daraus folgt, daß z. B. für $dT/dy = -\frac{1}{8}{}^{1}/_{6}$ ein in der Nähe der Oberfläche horizontal ausgehender Schallstrahl den Boden nach etwa 1000 m erreicht, wo die Schallenergie im wesentlichen absorbiert wird. Schräg verlaufende Strahlen erreichen den Boden noch früher. Bei größeren Temperaturunterschieden werden die Verhältnisse naturgemäß noch ungünstiger.

Bezüglich des Einflusses des Salzgehaltes ergibt sich, daß eine Änderung desselben um $1\,{}^{0}/_{00}$ die Schallgeschwindigkeit (von normal 1439 m/sek) wegen seines Einflusses auf Kompressibilität und Dichte um 1,8 bzw. 0,6 m/sek ändert. Der Druck hat dagegen wiederum praktisch nur Einfluß auf die Kompressibilität und zwar wirkt eine Drucksteigerung um 200 Atm. wie eine Temperaturzunahme um 20° C. Als weiterer störender Faktor treten schließlich noch Strömungen im Wasser auf.

In der Nord- und Ostsee wirkt im wesentlichen nur die Temperatur ein, und zwar ist im Sommer im allgemeinen das Wasser oben wärmer als unten, während im Winter das umgekehrte Verhalten vorherrscht. Demnach hat man bei den Unterwasserschallsignalen im Sommer eine geringere Reichweite zu erwarten als im Winter, was auch mit den bei verschiedenen Feuerschiffen gemachten Beobachtungen übereinstimmt, wofür eine Reihe von Kurven gegeben werden. In tiefen Ozeanen darf man wegen des günstigen Einflusses des Druckes auf die Kompressibilität auf bedeutend größere Reichweiten rechnen als in seichten Gewässern. *Berndt.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. – Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

GENERAL LIBRARY
APR 21 1921
UNIV. OF MICH.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
V. v. Lang in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

2. Heft: Februar.

Inhalt:

Dr. W. Sander. Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung (Fortsetzung von S. 27) S. 33.

Referate: Verallgemeinerung der Abbeschen Sinusbedingung für Systeme mit nicht gehobener Längenaberration. — Isoplanatische Korrektion und Proportionalitätsbedingung S. 60. — Über die durch ein Drehkeilpaar erzeugte Ablenkung und über eine als Kennzeichen für die Beibehaltung des Hauptschnittes dienende Sinusbedingung S. 62. — Über den Unterschied zwischen den Okularen von Huyghens und denen von Ramsden und über die Abhängigkeit der Brennweite solcher Okulare von der Wellenlänge S. 63. — Die Entwicklung des Sehrohres für Tauchboote S. 63. — Spiegelablesung für große Ausschläge S. 63.

Bücherbesprechungen: K. Fajans, Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen S. 64. — H. Schulz, Die Polarisationsapparate und ihre Verwendung S. 64.

Acc 3/7/21

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Patentanwalt A. Kuhn, Dipl. Ing. BERLIN SW 61, Gitschinerstr 106

Ihr Geschäft ist krank

und Sie ahnen es vielleicht noch nicht einmal. Sie sollten sich deshalb 'mal in Ruhe fragen, ob bei Ihnen alles so ist, wie es sein sollte.

Wenn Sie unsere Kasse eine Weile benutzt hätten, wüßten Sie bald, daß Ihr Geschäft bisher noch nicht genügend stark war.

Diese Kasse ist Arzt und Helfer zugleich. Sie arbeitet für Sie, denkt für Sie, paßt für Sie auf und vermeidet alles, was dazu angetan sein könnte, Ihre Arbeitsfreude zu untergraben.

Lassen Sie sich unsere Lieferungsbedingungen noch heute mitteilen.

Kassenfabrik „KOMET", Schkeuditz 478,
Bez. Halle a. S.

Jahrgang 1900, 1911/1912
dieser Zeitschrift
zu kaufen gesucht.

Angebote unter **Ikde 6127** durch die Expedition dieses Blattes. [6127]

Winkelprismen
Universalinstrument
Bitte neue Preisliste anfordern
J. D. MÖLLER
WEDEL bei HAMBURG
Gegründet 1864

LAACK
Feinoptik!
Alle Sorten
Linsen und Objektive
für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen
Julius LAACK Söhne,
RATHENOW a. H.

Komplette Einrichtungen mit allem Zubehör
für
Glasbläsereien, -teilereien, -schleifereien, für Instrumentenfabriken u. Laboratorien
liefern
GOTTHOLD KÖCHERT & SÖHNE, ILMENAU 4, Thür.
[6108] **Spezialfabrik**
für Maschinen und Apparate für Glasbearbeitung

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **Februar 1921.** Zweites Heft.

Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung.

Von

Dr. Ing. **Willy Sander.**

(Mitteilung aus der optischen Anstalt von Carl Zeiss, Jena.)

(Fortsetzung von Seite 27.)

II. Der Stereoautograph zur Auswertung von Bildplatten, die mit Objektiven von nicht horizontaler und beliebiger gegenseitiger Achsenrichtung gewonnen sind.

A. Handantrieb des Vertikalparallaxenschlittens D.

Bei einem Stereoautographen, der zur Auswertung von Bildplatten geeignet sein soll, die mit Objektiven von nicht horizontaler und beliebiger gegenseitiger Achsenrichtung gewonnen sind (beliebig dabei mit der Einschränkung verstanden, daß ein stereoskopischer Effekt überhaupt zustande kommt), muß das Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1 zwangläufig so mit dem Stereokomparator A, B, C, D verbunden sein, daß beim Kopieren die folgenden Gleichungen aufrechterhalten werden.

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1} \qquad \text{I)}$$

$$\frac{y_1}{f} = \frac{Y_1 \cos\beta_1 - Z_1 \sin\beta_1}{Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1} \qquad \text{II)}$$

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma)}{X_1 \cos\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \sin\beta_2 + Z_1 \cos\beta_2 \cos\gamma + b[\cos\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \sin\beta_2 \sin\varepsilon]} \qquad \text{III)}$$

$$\frac{y_2}{f} = \frac{-X_1 \sin\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \cos\beta_2 - Z_1 \sin\beta_2 \cos\gamma - b[\sin\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) + \cos\beta_2 \sin\varepsilon]}{X_1 \cos\beta_2 \sin\gamma + Y_1 \sin\beta_2 + Z_1 \cos\beta_2 \cos\gamma + b[\cos\beta_2 \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \sin\beta_2 \sin\varepsilon]} \qquad \text{IV)}$$

Wie im Falle horizontaler Objektivachsen genügt es auch hierbei, wenn nur die Beziehungen, die durch die ersten drei dieser Gleichungen ausgedrückt sind, selbsttätig aufrechterhalten werden und wenn dabei die gleiche gegenseitige Verstellung, die die linke Bildplatte in ihrer Höhenrichtung gegenüber dem Mikroskop M erfährt, zwangläufig auch für die rechte Bildplatte vorgesehen wird. Es muß dann wiederum der rechten Bildplatte in ihrer Höhenrichtung eine Verstellung von Hand um $y_2 - y_1$ erteilt werden, die nur gelegentlich vorgenommen zu werden braucht, um den stereoskopischen Effekt aufrechtzuerhalten.

Die Bedingung der Aufrechterhaltung der Gleichungen I bis III wird durch

mehrere Lösungen erfüllt, deren jeder eine zweckmäßige Umformung dieser Gleichungen zugrunde liegt. Die Lösungen sollen in derjenigen Reihenfolge besprochen werden, in der sie vom Verfasser gefunden worden sind.

a) Ausführungsform *E* (Lösung 1).

(D. R. P. 301 289 vom 26. Mai 1914.)

Die Ausführungsform *E* des Stereoautographen beruht auf den folgendermaßen umgewandelten Gleichungen I bis III.

$$\frac{\frac{x_1}{f}}{\cos\beta_1} = \frac{X_1}{Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1} \qquad \text{If)}$$

$$\frac{\eta_1}{f} = \frac{Y_1 \cos\beta_1 - Z_1 \sin\beta_1}{Y_1 \sin\beta_1 + Z_1 \cos\beta_1} \text{ (identisch mit II)} \qquad \text{IIf)}$$

$$\frac{\frac{x_2}{f}}{\cos\beta_2} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1 \sin\gamma + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 + Z_1 \cos\gamma + b[\cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\varepsilon]} \qquad \text{IIIf)}$$

Während an die bisher beschriebenen Ausführungsformen die Anforderung gestellt war, daß sie zum Aufzeichnen beliebiger Linien der Oberfläche des aufgenommenen Objektes verwendbar sein sollten, soll von der Ausführungsform *E* nur verlangt werden, daß sie das Aufzeichnen von Höhenschichtenlinien gestattet. Da für ein und dieselbe Höhenschichtenlinie die Koordinate Y_1 unveränderlich ist, so können diejenigen Glieder der Gleichungen If bis IIIf, die Y_1 enthalten, für ein und dieselbe Höhenschichtenlinie als unveränderlich angenommen werden. Für jede andere Höhenschichtenlinie haben diese Glieder jedoch andere Werte, so daß vor dem Aufzeichnen jeder neuen Höhenschichtenlinie eine Neueinstellung derjenigen Einzelteile des Stereoautographen nötig ist, die gemäß diesen Gliedern einzustellen sind.

Die Konstruktion der Ausführungsform *E* wird aus Fig. 15 (Tafel V) ersichtlich. Sie schließt sich an die in Fig. 12 (Tafel III) dargestellte Konstruktion der Ausführungsform *C* an, die auf den Gleichungen Id bis IIId beruht. Doch ist der Stereokomparator wie in Fig. 10 (Tafel I) so ausgebildet, daß der Schlitten *A* das Mikroskop *M* trägt und daß die beiden Schlitten *B* und *C* nebeneinander auf einer gemeinsamen Führung gleiten. Infolgedessen sind die als Träger der Mitnehmer *O* und *P* dienenden Schlitten d_5 und h_5 wie in Fig. 10 unmittelbar auf den Schiebern d_6 und h_6 einstellbar angeordnet und ist die Skala q_2 wie in Fig. 10 gerichtet.

Damit die Gleichung If beim Kopieren selbsttätig erfüllt wird, muß die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0, die in Fig. 12 (Tafel III), entsprechend der Gleichung Id, den Wert Z_1 hat, jetzt, entsprechend der Gleichung If, den Wert $Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1$ annehmen, wobei $Y_1 \operatorname{tg}\beta_1$ sich nach der an der Skala g_2 angezeigten Koordinate Y_1 richtet. Demzufolge wird der Mitnehmer O_1 nicht mehr unmittelbar auf dem Schlitten B_1, sondern auf einem Schlitten m_1 angebracht, der auf dem Schlitten B_1 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet ist und auf diesem Schlitten durch eine Klemmschraube m_2 festgestellt werden kann. Ein Zeiger m_3 des Schlittens m_1 zeigt an einer Skala m_4 des Schlittens B_1 denjenigen Wert an, um den der Schlitten m_1 aus seiner Nullstellung verschoben ist. Diese Verschiebung muß, entsprechend der Gleichung If, den im Kopier-

Tafel V.

Ausführungsform E.

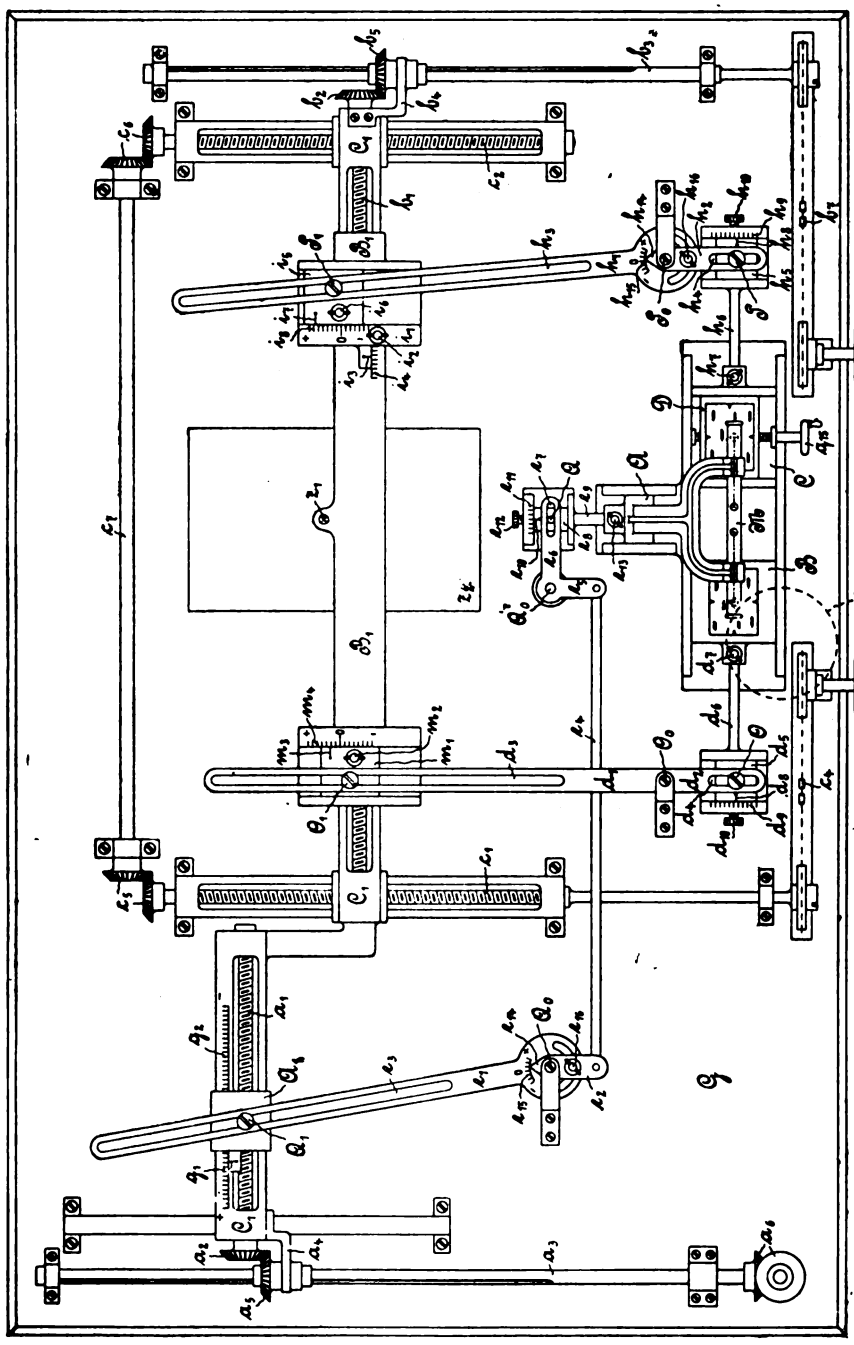


Fig. 15.

maßstab gemessenen Wert $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1$ annehmen. Die Nullstellung ist dadurch bestimmt, daß für $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1 = 0$ die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 gleich der entsprechenden Komponente (Z_1) des Abstandes des Mitnehmers Q_1 von der Drehachse Q_0 sein muß. Der Richtungssinn der Verschiebung ergibt sich daraus, daß bei positivem $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1$ der Abstand des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 größer sein muß als für $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1 = 0$. Die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O von der Drehachse O_0, die in Fig. 12 (Tafel III), entsprechend der Gleichung Id, den Wert f hat, muß jetzt, entsprechend der Gleichung If, den Wert $\frac{f}{\cos \beta_1}$ annehmen. Diesen Wert muß der Zeiger d_8 des Schlittens d_5 an der Skala d_9 des Schiebers d_6 anzeigen. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Abszisse $x_1 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel d_1 d_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel der Tiefenrichtung ist. In diesem Falle gibt der Zeichenstift z_1 auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $X_1 = 0$ an.

Damit die Gleichung IIf beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, werden die Arme e_1 und e_2 des die Schlitten A_1 und A verbindenden Doppelhebels e_1, e_2 der Figur 12 (Tafel III) in ihrer Drehebene gegeneinander einstellbar gemacht und so eingestellt, daß sie, vom langen Arm e_1 aus im Uhrzeigersinn gerechnet, den Winkel $180 + \beta_1$ miteinander einschließen. Dabei wird der Winkel β_1 durch einen Zeiger e_{14} des Armes e_2 an einer im Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung e_{15} des Armes e_1 angezeigt. Eine Klemmschraube e_{16} dient dazu, die beiden Arme gegeneinander festzustellen. Die in die Breitenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers Q von der Drehachse Q'_0 muß wie in Fig. 12 den Wert f haben. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Ordinate $y_1 = 0$ eingestellt ist, so muß sich der Doppelhebel e_1 e_2 in seiner Nullstellung befinden, in der sein Arm e_2 parallel der Tiefenrichtung, und sein Arm e_1 um den Winkel β_1 gegen die Tiefenrichtung geneigt ist. Dann ist der Arm e_6 des Winkelhebels e_5 e_6 parallel der Breitenrichtung, der Zeiger g_1 zeigt an der Skala g_2 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ an, und der Zeichenstift z_1 gibt auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $Y_1 = Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ an.

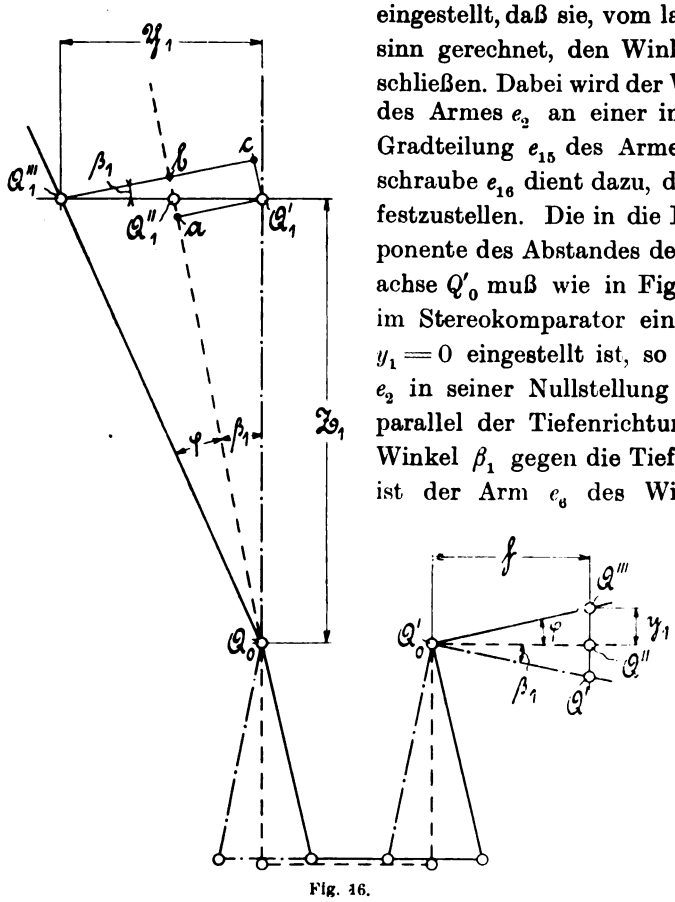


Fig. 16.

Die beschriebene Verbindung der Schlitten A_1 und A ist nicht an die Bedingung geknüpft, daß vor dem Aufzeichnen jeder neuen Höhenlinie eine Neueinstellung vorzunehmen ist. Sind die Arme gemäß dem Winkel β_1 eingestellt, so kann der Schlitten A_1 beliebig verschoben werden, die Gleichung IIf wird immer richtig erfüllt. Der Beweis dafür

folgt aus Fig. 16. Darin ist das Hebelsystem e_1, e_2, e_4, e_5, e_6 in drei Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten X_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = 0$. Die durch gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Systems, die der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ entspricht, zu der die Plattenkoordinate $y_1 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate Y_1 und der zugehörigen Plattenkoordinate y_1. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von Q_1' und Q_1''' Senkrechte auf $Q_0 Q_1''$ fällt, und wenn man ferner durch Q_1' zu $Q_0 Q_1''$ eine Parallele zieht:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y_1}{f} = \frac{\overline{Q_1''' b}}{\overline{Q_0 b}}$$

$$= \frac{\overline{Q_1''' c} - \overline{b c}}{\overline{a b} + \overline{Q_0 a}} = \frac{\overline{Q_1''' c} - \overline{Q_1' a}}{\overline{Q_1' c} + \overline{Q_0 a}}$$

$$= \frac{Y_1 \cos \beta_1 - Z_1 \sin \beta_1}{Y_1 \sin \beta_1 + Z_1 \cos \beta_1},$$

was zu beweisen war.

Die Gleichung IIIf läßt sich durch die gleiche Verbindung der Schlitten B_1 und C selbsttätig aufrechterhalten wie in Fig. 12 (Tafel III). Nur müssen die Schlitten h_5, i_1 und i_5 anders eingestellt werden. Da die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers P von der Drehachse P_0, die in Fig. 12 entsprechend der Gleichung IIId, den Wert f hat, jetzt, entsprechend der Gleichung IIIf, den Wert $\frac{f}{\cos \beta_2}$ annehmen muß, ist der Schlitten h_5 so einzustellen, daß sein Zeiger h_8 an der Skala h_9 des Schiebers h_6 diesen Wert $\frac{f}{\cos \beta_2}$ anzeigt. Ferner muß diejenige Komponente des Abstandes des Mitnehmers P_1 von der Drehachse P_0, die in die Nullstellungsrichtung des Armes h_1 fällt (welche Richtung, wie bei der Beschreibung von Fig. 12 erörtert ist, um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigt ist) und die in Fig. 12, entsprechend der Gleichung IIId, den Wert

$$X_1 \sin \gamma + Z_1 \cos \gamma + b \cos \varepsilon \sin (\alpha + \gamma)$$

hat, jetzt, entsprechend der Gleichung IIIf, den Wert

$$X_1 \sin \gamma + Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 + Z_1 \cos \gamma + b [\cos \varepsilon \sin (\alpha + \gamma) - \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon]$$

annehmen. Es ist somit eine zusätzliche Abstandsänderung um $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon$ erforderlich, wobei $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2$ sich nach der an der Skala g_2 angezeigten Koordinate Y_1 richtet. Demzufolge muß der Schlitten i_1 eine zusätzliche Verschiebung um

$$(Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon) \sin \gamma,$$

und der Schlitten i_5 eine zusätzliche Verschiebung um

$$(Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon) \cos \gamma$$

erfahren, so daß die Gesamtverschiebung des Schlittens i_1 aus seiner Nullstellung

$$b \cos \alpha \cos \varepsilon + (Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon) \sin \gamma$$
$$= Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 \sin \gamma + b (\cos \alpha \cos \varepsilon - \operatorname{tg} \beta_2 \sin \gamma \sin \varepsilon)$$

und die Gesamtverschiebung des Schlittens i_5 aus seiner Nullstellung

$$b \sin\alpha \cos\varepsilon + (Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 - b \operatorname{tg}\beta_2 \sin\varepsilon)\cos\gamma$$
$$= Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma - b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma \sin\varepsilon$$

beträgt, beide Verschiebungen dabei im Kopiermaßstab gemessen. Die Nullstellung des Doppelhebels h_1. h_2 ist die gleiche wie in Fig. 12 (Tafel III).

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung der Schlitten h_3. i_1 und i_5 die Gleichung III f richtig erfüllt wird, folgt aus Fig. 17. Darin ist der Doppelhebel h_1 h_2 in vier Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten Y_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate

$$X_1 = -[Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma$$
$$- b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma\sin\varepsilon)].$$

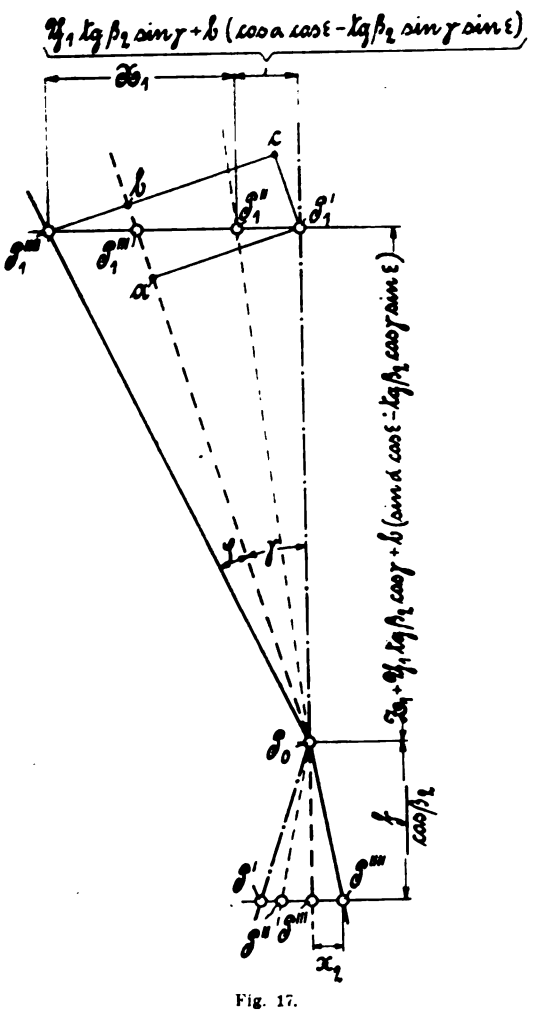


Fig. 17.

Die durch schwach gestrichelte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $X_1 = 0$. Die durch stark gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Doppelhebels, die der Einstellung eines Objektpunktes entspricht, zu dem die Plattenkoordinate $x_2 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate X_1 und der zugehörigen Plattenkoordinate x_2. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von P_1' und P_1'''' Senkrechte auf $P_0 P_1'''$ fällt, und wenn man ferner durch P_1' zu $P_0 P_1'''$ eine Parallele zieht:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x_2}{\frac{f}{\cos\beta_2}} = \frac{\overline{P_1'''' b}}{\overline{P_0 b}} = \frac{\overline{P_1'''' c} - \overline{b c}}{\overline{P_0 a} + \overline{a b}} = \frac{\overline{P_1'''' c} - \overline{P_1' a}}{\overline{P_0 a} + \overline{P_1' c}}$$

$$= \frac{[X_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma + b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma\sin\varepsilon)]\cos\gamma - [Z_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma + b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma\sin\varepsilon)]\sin\gamma}{[Z_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma + b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma\sin\varepsilon)]\cos\gamma + [X_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma + b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma\sin\varepsilon)]\sin\gamma}$$

$$= \frac{X_1\cos\gamma - Z_1\sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1\sin\gamma + Y_1\operatorname{tg}\beta_2 + Z_1\cos\gamma + b[\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma) - \operatorname{tg}\beta_2\sin\varepsilon]},$$

was zu beweisen war.

In Fig. 15 (Tafel V) sind im Stereokomparator die Marken des Mikroskops M auf die Bilder eines Objektpunktes eingestellt, deren Koordinaten die Werte haben

$$x_1 = 0,\ y_1 = 0,\ x_2 = 0,$$

$$y_2 = f\frac{\sin\beta_1 \cos\beta_2 \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma) - \cos\beta_1 (\cos\alpha \sin\beta_2 \cos\varepsilon + \cos\beta_2 \sin\gamma \sin\varepsilon)}{\sin\beta_1 \sin\beta_2 \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma) + \cos\beta_1 (\cos\alpha \cos\beta_2 \cos\varepsilon - \sin\beta_2 \sin\gamma \sin\varepsilon)}.$$

Der Zeichenstift z_1 gibt demzufolge auf dem Zeichenbrett z_2 den diesen Bildern entsprechenden Objektpunkt an mit den Koordinaten

$$X_1 = 0$$

$$Y_1 = Z_1 \operatorname{tg}\beta_1 = \frac{b \operatorname{tg}\beta_1 \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma)}{\sin\gamma}$$

$$Z_1 = \frac{b \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma)}{\sin\gamma},$$

d. h. dieser Objektpunkt ist der Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene.

Denkt man sich in Fig. 15 sämtliche Klemmschrauben angezogen, so kann durch Betätigen der Handräder b_6, c_3 und q_{15} die der Koordinate $Y_1 = Z_1 \operatorname{tg}\beta_1$ entsprechende Höhenschichtenlinie aufgezeichnet werden. Um eine andere, z. B. die einer Koordinate Y_1' entsprechende Höhenschichtenlinie aufzeichnen zu können, ist durch Drehen der Fußscheibe a_7 der Schlitten A_1 so einzustellen, daß sein Zeiger g_1 an der Skala g_2 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert Y_1' anzeigt, und sind weiter, nach Lösen der Klemmschrauben m_2, i_2 und i_6, die Schlitten m_1, i_1 und i_5 gemäß dieser Koordinate Y_1' einzustellen, worauf nach Anziehen der Klemmschrauben der Apparat gebrauchsfertig zum Aufzeichnen dieser anderen Höhenlinie ist.

b) Ausführungsform F (Lösung 2).

(D. R. P. 313261 vom 9. Juli 1918).

Wie vorausgesetzt, ist die Verwendung der Ausführungsform E auf das Aufzeichnen von Höhenschichtenlinien beschränkt. Diese Beschränkung hat zwar eine verhältnismäßig einfache Konstruktion der Ausführungsform ermöglicht, wird aber infolge der mit der Konstruktion verbundenen, zur Herabsetzung der Arbeitsleistung führende Forderung, daß vor dem Aufzeichnen jeder neuen Höhenschichtenlinie eine Neueinstellung der Schlitten m_1, i_1 und i_5 vorzunehmen ist, als lästig empfunden. Bei der Ausführungsform F ist daher eine weniger einfache Konstruktion dafür in den Kauf genommen, daß diese Beschränkung wegfällt. Aus den Erläuterungen zu der Ausführungsform E folgt, daß, um von jener Beschränkung frei zu kommen, die Einstellung des Mitnehmers O_1 in der Tiefenrichtung um $Y_1 \operatorname{tg}\beta_1$ und die Einstellung des Mitnehmers P_1 in der Nullstellungsrichtung des Armes h_1 (d. h. in der um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigten Richtung) um $Y_1 \operatorname{tg}\beta_2$ beim Einstellen des Schlittens A_1 selbsttätig erfolgen muß. Es ist also eine Kupplung des Schlittens A_1 mit den Mitnehmern O_1 und P_1 vorzusehen.

Die Konstruktion der Ausführungsform F wird aus Fig. 18 (Tafel VI) ersichtlich. Sie unterscheidet sich von der in Fig. 15 (Tafel V) dargestellten Ausführungsform E wesentlich nur durch das Hinzutreten dieser Kupplung. Dabei sind die Mitnehmer O_1 und P_1 aus konstruktiven Gründen nicht unmittelbar mit dem Schlitten A_1 gekuppelt, sondern mit einem Schlitten A_1', der hinter dem Schlitten B_1 auf dem Schlitten C_1 in der Breitenrichtung geradegeführt ist und beim Antrieb

Tafel VI.

Ausführungsform F.

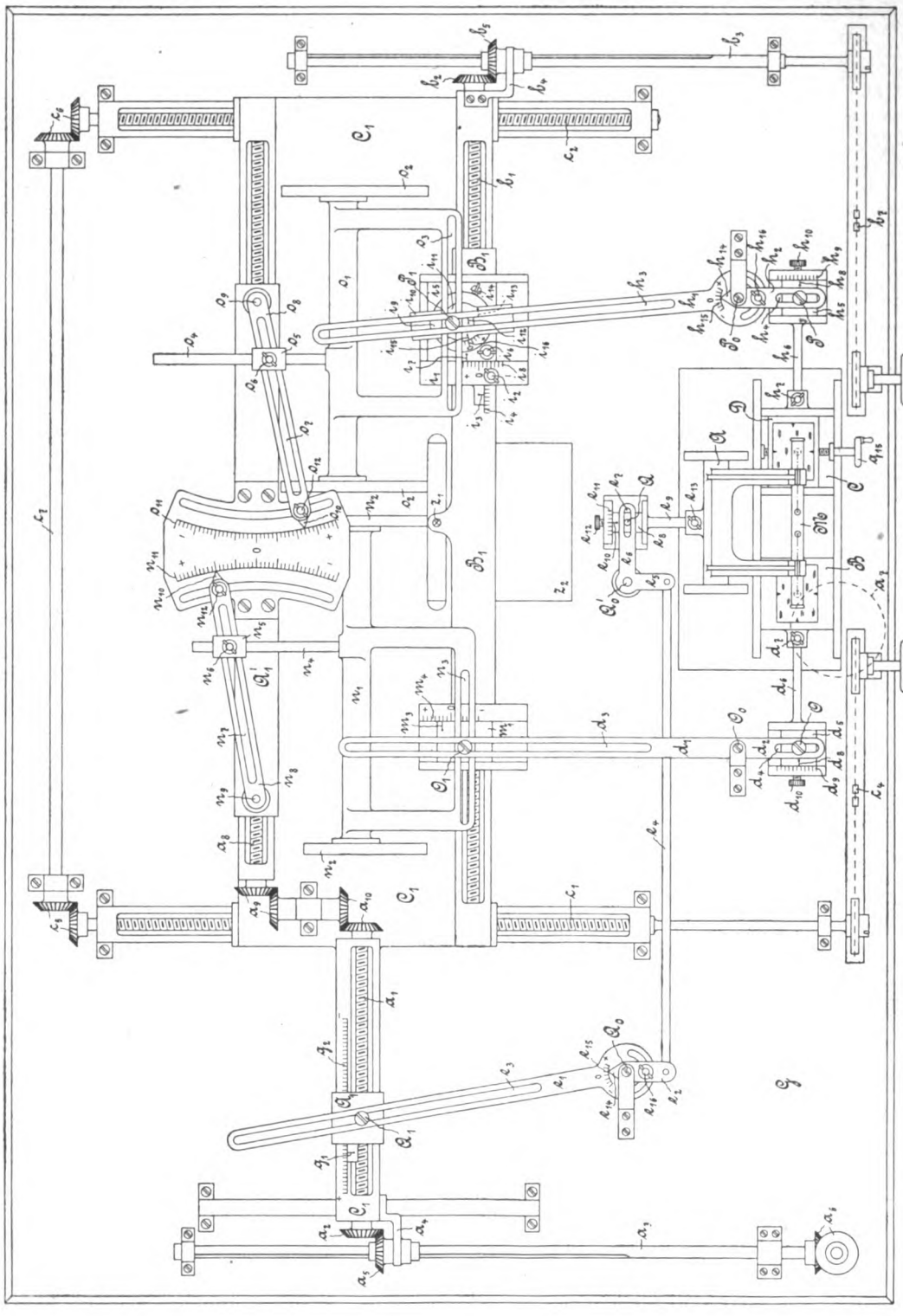


Fig. 18.

des Schlittens A_1 durch eine Gewindespindel a_8 und zwei Kegelräderpaare a_9 und a_{10} von der Gewindespindel a_1 aus eine Verschiebung erfährt, deren Größe und Richtungssinn mit der des Schlittens A_1 übereinstimmt.

Damit der Mitnehmer O_1 beim Verschieben des Schlittens A_1' in der Breitenrichtung um Y_1 die Verschiebung $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1$ in der Tiefenrichtung erfährt, und zwar so, daß, wie erforderlich, der Abstand des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 bei positivem $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1$ größer ist als für $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1 = 0$, ist er in ähnlicher Weise mit dem Schlitten A_1' gekuppelt wie in Fig. 14 (Tafel IV) der Mitnehmer R_1 mit dem Schlitten B_1. Auf dem Schlitten C_1 ist ein Schlitten n_1 längs zweier Führungen n_2 in der Tiefenrichtung verschieblich angeordnet, der einerseits einen der Breitenrichtung parallelen Schlitz n_3 aufweist, in den der Mitnehmer O_1 eingreift, und der anderseits einen der Tiefenrichtung parallelen Vierkantzapfen n_4 enthält, längs dessen eine Büchse n_5 einstellbar ist, die durch eine Klemmschraube n_6 auf dem Zapfen n_4 festgestellt werden kann. Diese Büchse n_5 greift mit einem Zapfen, der in der Zeichnung lotrecht unter der Klemmschraube n_6 zu denken ist, in einen Schlitz n_7 eines Hebels n_8 ein, der um einen Zapfen n_9 des Schlittens A_1' drehbar so gelagert ist, daß die Neigung seines Schlitzes n_7 gegen die Breitenrichtung verändert werden kann. Die jeweils eingestellte Neigung, die gleich dem Winkel β_1 zu wählen ist, wird durch einen Zeiger n_{10} des Hebels n_8 an einer entgegen dem Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung n_{11} des Schlittens A_1' angezeigt. Durch eine Klemmschraube n_{12} kann der Hebel n_8 auf dem Schlitten A_1' festgestellt werden. Die Klemmschraube m_2 des Schlittens m_1 der Figur 15 (Tafel V) ist, da entbehrlich, weggelassen. Die beschriebene Kupplung ist folgendermaßen einzustellen. Der Hebel n_8 ist in diejenige Stellung zu bringen, in der sein Zeiger n_{10} an der Gradteilung n_{11} den Winkel β_1 anzeigt. Der Schlitten A_1' ist in seine Nullstellung überzuführen, in der der Zeiger g_1 des Schlittens A_1 an der Skala g_2 des Schlittens A_1 den Wert Null anzeigt. Der Schlitten m_1 ist bei gelöster Klemmschraube n_6 so einzustellen, daß sein Zeiger m_3 an der Skala m_4 des Schlittens B_1 den Wert Null anzeigt. Die zwangläufige Verbindung des Schlittens A_1' mit dem Mitnehmer O_1 ist durch Anziehung der Klemmschraube n_6 herzustellen.

Damit der Mitnehmer P_1 beim Verschieben des Schlittens A_1' in der Breitenrichtung um Y_1 die Verschiebung $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2$ in der um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigten Richtung erfährt, und zwar so, daß, wie erforderlich, der Abstand des Mitnehmers P_1 von der Drehachse P_0 bei positivem $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2$ größer ist als für $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 = 0$, ist er nicht mehr unmittelbar auf dem Schlitten i_5 anzuordnen, sondern auf einem Schlitten i_9, der längs einer Geradführung i_{10} eines Drehschlittens i_{11} verschieblich angeordnet ist. In der Nullstellung des Schlittens i_9 liegt der Mitnehmer P_1 in der Achse dieses Drehschlittens. In dieser Stellung des Schlittens i_9 zeigt sein Zeiger i_{12} auf einen Gegenzeiger i_{13} der Geradführung i_{10}. Der Drehschlitten i_{11} ist auf dem Schlitten i_5 drehbar gelagert und kann durch eine Klemmschraube i_{14} auf diesem Schlitten festgestellt werden. Ein Zeiger i_{15} des Drehschlittens zeigt an einer entgegen dem Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung i_{16} des Schlittens i_5 denjenigen Winkel an, um den der Drehschlitten aus seiner Nullstellung verdreht ist. Diese Verdrehung muß, damit die Verschiebung des Mitnehmers P_1, wie verlangt, in der um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigten Richtung vor sich geht, den Wert γ annehmen. Die Nullstellung ist dadurch bestimmt, daß für $\gamma = 0$ die Geradführung i_{10} parallel der Tiefenrichtung sein muß.

Tafel VI.

inkelhebeln. Weiter könnte man auch die Verschiebungsrichtung des Schlittens A_1' die Tiefenrichtung legen und dadurch eine Vereinfachung der Hebelverbindung erelen. Zweckmäßig wäre es auch, den seitlichen Schlitten A_1 überhaupt wegfallen zu ssen und den Doppelhebel e_1, e_2 unmittelbar durch den mittleren Schlitten A_1' anzureiben. Genauere Untersuchungen darüber liegen außerhalb des Rahmens dieser Arbeit.

c) Entwicklung weiterer Lösungen.

Man denke sich, ein Objekt werde sowohl auf eine im Brennweitenabstand f von einem Objektiv o angeordnete, gegen die Lotrechte um den Winkel β geneigte Bildplatte E_1, als auch auf eine im Brennweitenabstand f von diesem Objektiv o befindliche lotrechte Bildplatte E_2 aufgenommen (siehe Fig. 19). Dabei schließen die optischen Achsen ebenfalls den Winkel β miteinander ein. Es sei o_1 der Durchstoßpunkt der zu der geneigten Bildplatte E_1 gehörenden optischen Achse mit dieser geneigten Bildplatte, und es sei o' der Durchstoßpunkt der zu der lotrechten Bildplatte E_2 gehörenden optischen Achse mit dieser lotrechten Bildplatte. Ein Objektpunkt werde auf der geneigten Bildplatte in p_1, auf der lotrechten Bildplatte in p' abgebildet. Der Bildpunkt p_1 hat dann in bezug auf den Durchstoßpunkt o_1 als Koordinatenanfang die Koordinaten $\overline{p_1 m_1} = x$ und $\overline{p_1 n_1} = y$, während die Koordinaten des Bildpunktes p' in bezug auf den Durchstoßpunkt o' als Koordinatenanfang $\overline{p' m'} = x'$ und $\overline{p' n'} = y'$ sind. Die Punkte m_1 und m' liegen auf einer Geraden durch o, die gegen die optische Achse oo_1 um den Winkel q geneigt ist, und aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $o p_1 m_1$ und $o p' m'$ folgt

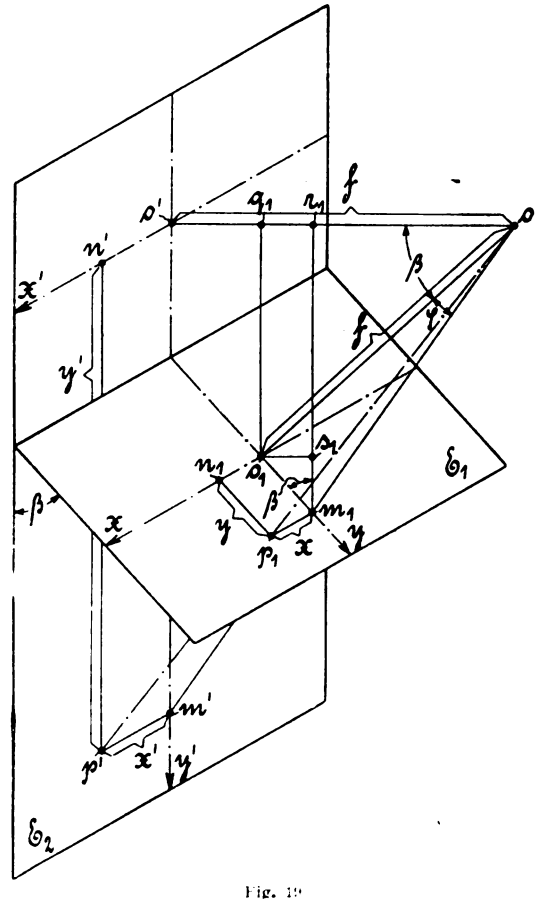


Fig. 19

$$p' m' = p_1 m_1 \frac{o m'}{o m_1},$$

oder mit den geltenden Bezeichnungen

$$x' = x \frac{\frac{f}{\cos(\beta + q)}}{\frac{f}{\cos q}} = \frac{x}{\cos\beta - \sin\beta \operatorname{tg} q}$$

Daraus folgt mit

$$\operatorname{tg} q = \frac{y}{f}$$

$$x' = \frac{x}{\cos\beta - \frac{y}{f}\sin\beta} \qquad (21)$$

Die Kupplung des Mitnehmers P_1 mit dem Schlitten A_1' ist dann ganz ähnlich der des Mitnehmers O_1 mit dem Schlitten A_1'. Auf dem Schlitten C_1 ist ein Schlitten o_1 längs zweier Führungen o_2 in der Tiefenrichtung verschieblich angeordnet, der einerseits einen der Breitenrichtung parallelen Schlitz o_3 aufweist, in den der Mitnehmer P_1 eingreift, und der anderseits einen der Tiefenrichtung parallelen Vierkantzapfen o_4 enthält, längs dessen eine Büchse o_5 einstellbar ist, die durch eine Klemmschraube o_6 auf dem Zapfen o_4 festgestellt werden kann. Diese Büchse o_5 greift mit einem Zapfen, der in der Zeichnung lotrecht unter der Klemmschraube o_6 zu denken ist, in einen Schlitz o_7 eines Hebels o_8 ein, der um einen Zapfen o_9 des Schlittens A_1' drehbar so gelagert ist, daß die Neigung seines Schlitzes o_7 gegen die Breitenrichtung verändert werden kann. Die jeweils eingestellte Neigung wird durch einen Zeiger o_{10} des Hebels o_8 an einer entgegen dem Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung o_{11} des Schlittens A_1' angezeigt. Durch eine Klemmschraube o_{12} kann der Hebel auf dem Schlitten A_1' festgestellt werden. Die einzustellende Neigung ergibt sich durch folgende Überlegung. Beim Verschieben des Schlittens A_1' um Y_1 soll der Mitnehmer P_1 in der um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigten Richtung die Verschiebung $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2$ erfahren. Die Verschiebung des Mitnehmers in der Tiefenrichtung muß also den Wert $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 \cos \gamma$ annehmen. Bezeichnet man den Neigungswinkel des Schlitzes o_7 gegen die Breitenrichtung mit δ, so muß folglich die Gleichung bestehen

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 \cos \gamma}{Y_1} = \operatorname{tg} \beta_2 \cos \gamma .$$

Die beschriebene Kupplung ist folgendermaßen einzustellen. Der Hebel o_8 ist in diejenige Stellung zu bringen, in der sein Zeiger o_{10} an der Gradteilung o_{11} den nach jener Gleichung zu berechnenden Winkel δ anzeigt. Der Schlitten A_1' ist in seine Nullstellung überzuführen, in der der Zeiger g_1 des Schlittens A_1 an der Skala g_2 des Schlittens C_1 den Wert Null anzeigt. Der Schlitten i_1 ist so einzustellen, daß sein Zeiger i_3 an der Skala i_4 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert b ($\cos \alpha \cos \varepsilon - \operatorname{tg} \beta_2 \sin \gamma \sin \varepsilon$) anzeigt, und der Schlitten i_5 so, daß sein Zeiger i_7 an der Skala i_8 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert b ($\sin \alpha \cos \varepsilon - \operatorname{tg} \beta_2 \cos \gamma \sin \varepsilon$) anzeigt (vgl. die Erläuterungen zur Ausführungsform E). Der Drehschlitten i_{11} ist in diejenige Lage zu bringen, in der sein Zeiger i_{15} an der Gradteilung i_{16} den Winkel γ anzeigt. Der Schlitten i_9 ist bei gelöster Klemmschraube o_6 so einzustellen, daß sein Zeiger i_{12} auf den Gegenzeiger i_{13} der Geradführung i_{10} hinweist. Durch Anziehen der Klemmschraube o_6 ist alsdann die zwangläufige Verbindung des Schlittens A_1' mit dem Mitnehmer P_1 herzustellen.

Eingestellt ist der Apparat wie in Fig. 15 (Tafel V) für den Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene, so daß die Stellung der Doppelhebel d_1, d_2; c_1, e_2 und h_1, h_2 mit der in Fig. 15 gezeichneten übereinstimmt.

Beim Gebrauch des Apparates müssen sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung ist die gleiche, wie bei der Ausführungsform A angegeben ist.

Es soll noch bemerkt werden, daß die geforderte Kupplung der Mitnehmer O_1 und P_1 mit dem Schlitten A_1' noch durch eine ganze Reihe anderer Konstruktionen verwirklicht werden kann. In erster Linie ist dabei gedacht an eine Verbindung des Schlittens A_1' mit den Mitnehmern O_1 und P_1 durch Doppelhebel in Verbindung mit

Winkelhebeln. Weiter könnte man auch die Verschiebungsrichtung des Schlittens A_1' in die Tiefenrichtung legen und dadurch eine Vereinfachung der Hebelverbindung erzielen. Zweckmäßig wäre es auch, den seitlichen Schlitten A_1 überhaupt wegfallen zu lassen und den Doppelhebel e_1, e_2 unmittelbar durch den mittleren Schlitten A_1' anzutreiben. Genauere Untersuchungen darüber liegen außerhalb des Rahmens dieser Arbeit.

c) Entwicklung weiterer Lösungen.

Man denke sich, ein Objekt werde sowohl auf eine im Brennweitenabstand f von einem Objektiv o angeordnete, gegen die Lotrechte um den Winkel β geneigte Bildplatte E_1, als auch auf eine im Brennweitenabstand f von diesem Objektiv o befindliche lotrechte Bildplatte E_2 aufgenommen (siehe Fig. 19). Dabei schließen die optischen Achsen ebenfalls den Winkel β miteinander ein. Es sei o_1 der Durchstoßpunkt der zu der geneigten Bildplatte E_1 gehörenden optischen Achse mit dieser geneigten Bildplatte, und es sei o' der Durchstoßpunkt der zu der lotrechten Bildplatte E_2 gehörenden optischen Achse mit dieser lotrechten Bildplatte. Ein Objektpunkt werde auf der geneigten Bildplatte in p_1, auf der lotrechten Bildplatte in p' abgebildet. Der Bildpunkt p_1 hat dann in bezug auf den Durchstoßpunkt o_1 als Koordinatenanfang die Koordinaten $\overline{p_1 m_1} = x$ und $\overline{p_1 n_1} = y$, während die Koordinaten des Bildpunktes p' in bezug auf den Durchstoßpunkt o' als Koordinatenanfang $\overline{p' m'} = x'$ und $\overline{p' n'} = y'$ sind. Die Punkte m_1 und m' liegen auf einer Geraden durch o, die gegen die optische Achse $o o_1$ um den Winkel φ geneigt ist, und aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $o p_1 m_1$ und $o p' m'$ folgt

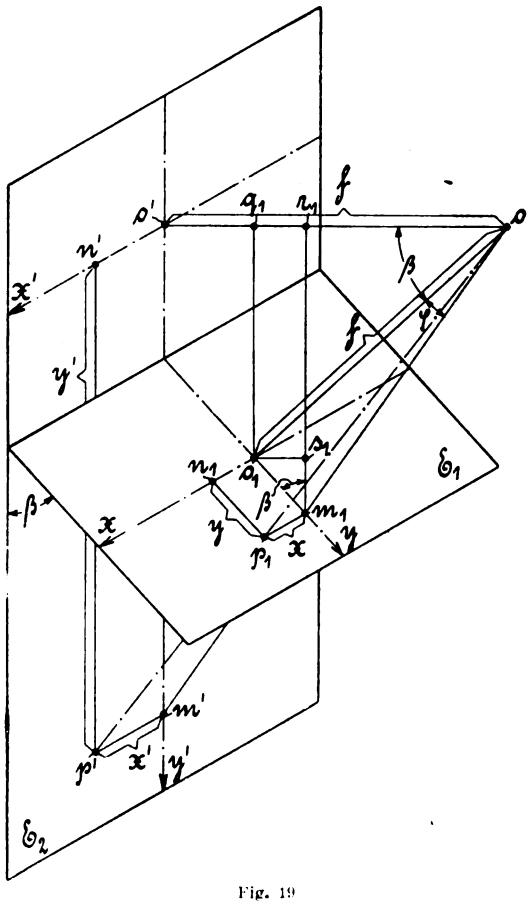


Fig. 19

$$\overline{p' m'} = \overline{p_1 m_1} \frac{\overline{o m'}}{\overline{o m_1}},$$

oder mit den geltenden Bezeichnungen

$$x' = x \frac{\frac{f}{\cos(\beta + \varphi)}}{\frac{f}{\cos \varphi}} = \frac{x}{\cos \beta - \sin \beta \operatorname{tg} \varphi}.$$

Daraus folgt mit

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y}{f}$$

$$x' = \frac{x}{\cos \beta - \frac{y}{f} \sin \beta}. \qquad 21)$$

maßstab gemessenen Wert $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1$ annehmen. Die Nullstellung ist dadurch bestimmt, daß für $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1 = 0$ die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 gleich der entsprechenden Komponente (Z_1) des Abstandes des Mitnehmers Q_1 von der Drehachse Q_0 sein muß. Der Richtungssinn der Verschiebung ergibt sich daraus, daß bei positivem $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1$ der Abstand des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 größer sein muß als für $Y_1 \operatorname{tg} \beta_1 = 0$. Die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O von der Drehachse O_0, die in Fig. 12 (Tafel III), entsprechend der Gleichung Id, den Wert f hat, muß jetzt, entsprechend der Gleichung If, den Wert $\frac{f}{\cos \beta_1}$ annehmen. Diesen Wert muß der Zeiger d_8 des Schlittens d_5 an der Skala d_9 des Schiebers d_6 anzeigen. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Abszisse $x_1 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel d_1 d_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel der Tiefenrichtung ist. In diesem Falle gibt der Zeichenstift z_1 auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $X_1 = 0$ an.

Damit die Gleichung IIf beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, werden die Arme e_1 und e_2 des die Schlitten A_1 und A verbindenden Doppelhebels e_1, e_2 der Figur 12 (Tafel III) in ihrer Drehebene gegeneinander einstellbar gemacht und so eingestellt, daß sie, vom langen Arm e_1 aus im Uhrzeigersinn gerechnet, den Winkel $180 + \beta_1$ miteinander einschließen. Dabei wird der Winkel β_1 durch einen Zeiger e_{14} des Armes e_2 an einer im Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung e_{15} des Armes e_1 angezeigt. Eine Klemmschraube e_{16} dient dazu, die beiden Arme gegeneinander festzustellen. Die in die Breitenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers Q von der Drehachse Q'_0 muß wie in Fig. 12 den Wert f haben. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Ordinate $y_1 = 0$ eingestellt ist, so muß sich der Doppelhebel e_1 e_2 in seiner Nullstellung befinden, in der sein Arm e_2 parallel der Tiefenrichtung, und sein Arm e_1 um den Winkel β_1 gegen die Tiefenrichtung geneigt ist. Dann ist der Arm e_6 des Winkelhebels e_5 e_6 parallel der Breitenrichtung, der Zeiger g_1 zeigt an der Skala g_2 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ an, und der Zeichenstift z_1 gibt auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $Y_1 = Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ an.

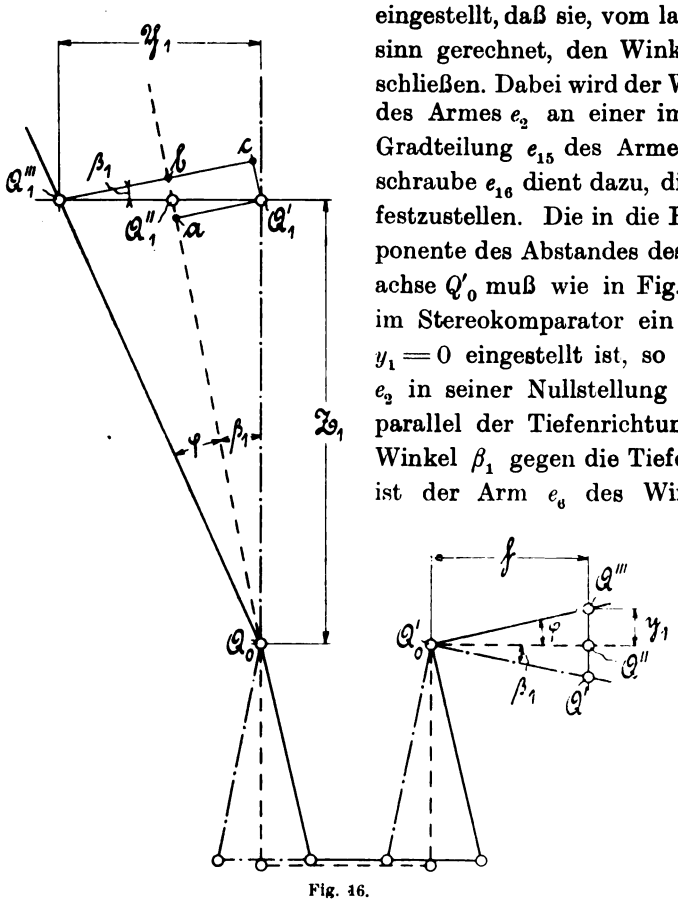


Fig. 16.

Die beschriebene Verbindung der Schlitten A_1 und A ist nicht an die Bedingung geknüpft, daß vor dem Aufzeichnen jeder neuen Höhenlinie eine Neueinstellung vorzunehmen ist. Sind die Arme gemäß dem Winkel β_1 eingestellt, so kann der Schlitten A_1 beliebig verschoben werden, die Gleichung IIf wird immer richtig erfüllt. Der Beweis dafür

folgt aus Fig. 16. Darin ist das Hebelsystem e_1, e_2, e_4, e_5, e_6 in drei Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten X_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = 0$. Die durch gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Systems, die der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ entspricht, zu der die Plattenkoordinate $y_1 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate Y_1 und der zugehörigen Plattenkoordinate y_1. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von Q_1' und Q_1''' Senkrechte auf $Q_0 Q_1''$ fällt, und wenn man ferner durch Q_1' zu $Q_0 Q_1''$ eine Parallele zieht:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{y_1}{f} = \frac{\overline{Q_1''' b}}{\overline{Q_0 b}}$$

$$= \frac{\overline{Q_1''' c} - \overline{b c}}{\overline{a b} + \overline{Q_0 a}} = \frac{\overline{Q_1''' c} - \overline{Q_1' a}}{\overline{Q_1' c} + \overline{Q_0 a}}$$

$$= \frac{Y_1 \cos \beta_1 - Z_1 \sin \beta_1}{Y_1 \sin \beta_1 + Z_1 \cos \beta_1},$$

was zu beweisen war.

Die Gleichung IIIf läßt sich durch die gleiche Verbindung der Schlitten B_1 und C selbsttätig aufrechterhalten wie in Fig. 12 (Tafel III). Nur müssen die Schlitten h_5, i_1 und i_5 anders eingestellt werden. Da die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers P von der Drehachse P_0, die in Fig. 12 entsprechend der Gleichung IIId, den Wert f hat, jetzt, entsprechend der Gleichung IIIf, den Wert $\frac{f}{\cos \beta_2}$ annehmen muß, ist der Schlitten h_5 so einzustellen, daß sein Zeiger h_8 an der Skala h_9 des Schiebers h_6 diesen Wert $\frac{f}{\cos \beta_2}$ anzeigt. Ferner muß diejenige Komponente des Abstandes des Mitnehmers P_1 von der Drehachse P_0, die in die Nullstellungsrichtung des Armes h_1 fällt (welche Richtung, wie bei der Beschreibung von Fig. 12 erörtert ist, um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigt ist) und die in Fig. 12, entsprechend der Gleichung IIId, den Wert

$$X_1 \sin \gamma + Z_1 \cos \gamma + b \cos \varepsilon \sin (\alpha + \gamma)$$

hat, jetzt, entsprechend der Gleichung IIIf, den Wert

$$X_1 \sin \gamma + Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 + Z_1 \cos \gamma + b [\cos \varepsilon \sin (\alpha + \gamma) - \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon]$$

annehmen. Es ist somit eine zusätzliche Abstandsänderung um $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon$ erforderlich, wobei $Y_1 \operatorname{tg} \beta_2$ sich nach der an der Skala g_2 angezeigten Koordinate Y_1 richtet. Demzufolge muß der Schlitten i_1 eine zusätzliche Verschiebung um

$$(Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon) \sin \gamma,$$

und der Schlitten i_5 eine zusätzliche Verschiebung um

$$(Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon) \cos \gamma$$

erfahren, so daß die Gesamtverschiebung des Schlittens i_1 aus seiner Nullstellung

$$b \cos \alpha \cos \varepsilon + (Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 - b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon) \sin \gamma$$
$$= Y_1 \operatorname{tg} \beta_2 \sin \gamma + b (\cos \alpha \cos \varepsilon - \operatorname{tg} \beta_2 \sin \gamma \sin \varepsilon)$$

und die Gesamtverschiebung des Schlittens i_5 aus seiner Nullstellung

$$b \sin\alpha \cos\varepsilon + (Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 - b \operatorname{tg}\beta_2 \sin\varepsilon)\cos\gamma$$
$$= Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma + b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma \sin\varepsilon)$$

beträgt, beide Verschiebungen dabei im Kopiermaßstab gemessen. Die Nullstellung des Doppelhebels h_1, h_2 ist die gleiche wie in Fig. 12 (Tafel III).

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung der Schlitten h_5, i_1 und i_5 die Gleichung III f richtig erfüllt wird, folgt aus Fig. 17. Darin ist der Doppelhebel h_1 h_2 in vier Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten Y_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate

$$X_1 = -[Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma + b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma\sin\varepsilon)].$$

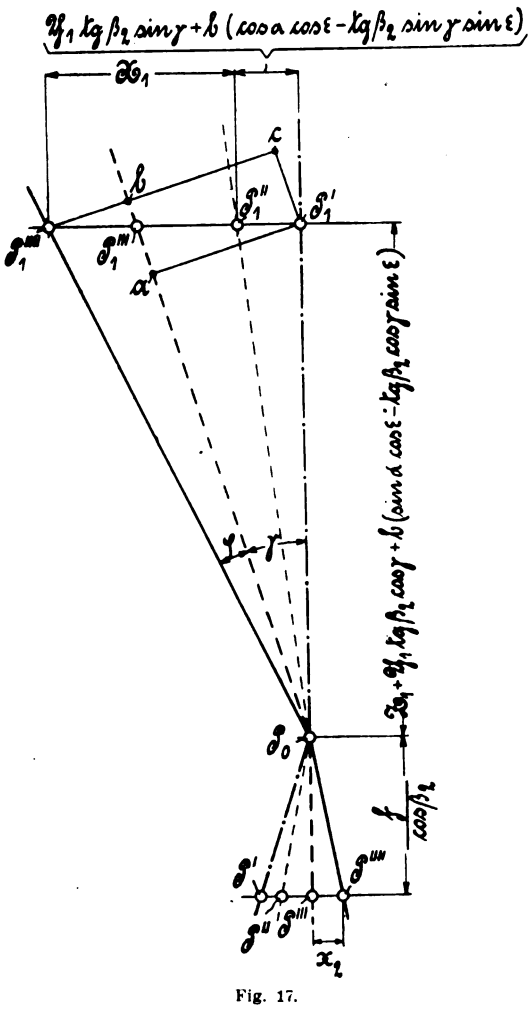


Fig. 17.

Die durch schwach gestrichelte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $X_1 = 0$. Die durch stark gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Doppelhebels, die der Einstellung eines Objektpunktes entspricht, zu dem die Plattenkoordinate $x_2 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate X_1 und der zugehörigen Plattenkoordinate x_2. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von P_1' und P_1'''' Senkrechte auf $P_0 P_1'''$ fällt, und wenn man ferner durch P_1' zu $P_0 P_1'''$ eine Parallele zieht:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x_2}{\frac{f}{\cos\beta_2}} = \frac{\overline{P_1''''\,b}}{\overline{P_0\,b}} = \frac{\overline{P_1''''\,c} - \overline{b\,c}}{\overline{P_0\,a} + \overline{a\,b}} = \frac{\overline{P_1''''\,c} - \overline{P_1'\,a}}{\overline{P_0\,a} + \overline{P_1'\,c}}$$

$$= \frac{\begin{array}{l}[X_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma + b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma\sin\varepsilon)]\cos\gamma - \\ [Z_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma + b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma\sin\varepsilon)]\sin\gamma\end{array}}{\begin{array}{l}[Z_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma + b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma\sin\varepsilon)]\cos\gamma + \\ [X_1 + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma + b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma\sin\varepsilon)]\sin\gamma\end{array}}$$

$$= \frac{X_1\cos\gamma - Z_1\sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1\sin\gamma + Y_1\operatorname{tg}\beta_2 + Z_1\cos\gamma + b[\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma) - \operatorname{tg}\beta_2\sin\varepsilon]},$$

was zu beweisen war.

In Fig. 15 (Tafel V) sind im Stereokomparator die Marken des Mikroskops M auf die Bilder eines Objektpunktes eingestellt, deren Koordinaten die Werte haben

$$x_1 = 0,\ y_1 = 0,\ x_2 = 0,$$

$$y_2 = f\frac{\sin\beta_1 \cos\beta_2 \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma) - \cos\beta_1 (\cos\alpha \sin\beta_2 \cos\varepsilon + \cos\beta_2 \sin\gamma \sin\varepsilon)}{\sin\beta_1 \sin\beta_2 \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma) + \cos\beta_1 (\cos\alpha \cos\beta_2 \cos\varepsilon - \sin\beta_2 \sin\gamma \sin\varepsilon)}.$$

Der Zeichenstift z_1 gibt demzufolge auf dem Zeichenbrett z_2 den diesen Bildern entsprechenden Objektpunkt an mit den Koordinaten

$$X_1 = 0$$

$$Y_1 = Z_1 \operatorname{tg}\beta_1 = \frac{b \operatorname{tg}\beta_1 \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma)}{\sin\gamma}$$

$$Z_1 = \frac{b \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma)}{\sin\gamma},$$

d. h. dieser Objektpunkt ist der Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene.

Denkt man sich in Fig. 15 sämtliche Klemmschrauben angezogen, so kann durch Betätigen der Handräder b_6, c_3 und q_{15} die der Koordinate $Y_1 = Z_1 \operatorname{tg}\beta_1$ entsprechende Höhenschichtenlinie aufgezeichnet werden. Um eine andere, z. B. die einer Koordinate Y_1' entsprechende Höhenschichtenlinie aufzeichnen zu können, ist durch Drehen der Fußscheibe a_7 der Schlitten A_1 so einzustellen, daß sein Zeiger g_1 an der Skala g_2 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert Y_1' anzeigt, und sind weiter, nach Lösen der Klemmschrauben m_2, i_2 und i_6, die Schlitten m_1, i_1 und i_5 gemäß dieser Koordinate Y_1' einzustellen, worauf nach Anziehen der Klemmschrauben der Apparat gebrauchsfertig zum Aufzeichnen dieser anderen Höhenlinie ist.

b) Ausführungsform F (Lösung 2).

(D. R. P. 313261 vom 9. Juli 1918).

Wie vorausgesetzt, ist die Verwendung der Ausführungsform E auf das Aufzeichnen von Höhenschichtenlinien beschränkt. Diese Beschränkung hat zwar eine verhältnismäßig einfache Konstruktion der Ausführungsform ermöglicht, wird aber infolge der mit der Konstruktion verbundenen, zur Herabsetzung der Arbeitsleistung führende Forderung, daß vor dem Aufzeichnen jeder neuen Höhenschichtenlinie eine Neueinstellung der Schlitten m_1, i_1 und i_5 vorzunehmen ist, als lästig empfunden. Bei der Ausführungsform F ist daher eine weniger einfache Konstruktion dafür in den Kauf genommen, daß diese Beschränkung wegfällt. Aus den Erläuterungen zu der Ausführungsform E folgt, daß, um von jener Beschränkung frei zu kommen, die Einstellung des Mitnehmers O_1 in der Tiefenrichtung um $Y_1 \operatorname{tg}\beta_1$ und die Einstellung des Mitnehmers P_1 in der Nullstellungsrichtung des Armes h_1 (d. h. in der um den Winkel γ gegen die Tiefenrichtung geneigten Richtung) um $Y_1 \operatorname{tg}\beta_2$ beim Einstellen des Schlittens A_1 selbsttätig erfolgen muß. Es ist also eine Kupplung des Schlittens A_1 mit den Mitnehmern O_1 und P_1 vorzusehen.

Die Konstruktion der Ausführungsform F wird aus Fig. 18 (Tafel VI) ersichtlich. Sie unterscheidet sich von der in Fig. 15 (Tafel V) dargestellten Ausführungsform E wesentlich nur durch das Hinzutreten dieser Kupplung. Dabei sind die Mitnehmer O_1 und P_1 aus konstruktiven Gründen nicht unmittelbar mit dem Schlitten A_1 gekuppelt, sondern mit einem Schlitten A_1', der hinter dem Schlitten B_1 auf dem Schlitten C_1 in der Breitenrichtung geradegeführt ist und beim Antrieb

Fällt man von o_1 und m_1 Lote auf oo', die oo' in s_1 und r_1 schneiden, und fällt man weiter von o_1 ein Lot auf $m_1 r_1$, das $m_1 r_1$ in s_1 schneidet, so folgt aus der Figur

$$o'm' = oo' \frac{r_1 s_1}{o q_1 - q_1 r_1}$$

oder mit den geltenden Bezeichnungen und mit $r_1 s_1 = q_1 o_1$ sowie $q_1 r_1 = o_1 s_1$

$$y' = f \frac{f \sin\beta + y \cos\beta}{f \cos\beta - y \sin\beta} \tag{22}$$

Bei gleichzeitiger Abbildung eines Objektpunktes auf zwei geneigte Bildplatten, also im Falle der stereophotogrammetrischen Aufnahme, ergeben sich dann analog die folgenden Beziehungen zwischen den Koordinaten x_1, y_1, x_2 und y_2 dieser Bildplatten und den entsprechenden Koordinaten x_1', y_1', x_2' und y_2' auf den zugehörigen lotrechten Bildplatten

$$x_1' = \frac{x_1}{\cos\beta_1 - \frac{y_1}{f}\sin\beta_1} \tag{23}$$

$$y_1' = f \frac{f \sin\beta_1 - y_1 \cos\beta_1}{f \cos\beta_1 - y_1 \sin\beta_1} \tag{24}$$

$$x_2' = \frac{x_2}{\cos\beta_2 - \frac{y_2}{f}\sin\beta_2} \tag{25}$$

$$y_2' = f \frac{f \sin\beta_2 + y_2 \cos\beta_2}{f \cos\beta_2 - y_2 \sin\beta_2} \tag{26}$$

Für diese lotrechten Bildplatten bestehen, wenn angenommen wird, daß die gegenseitige Lage der Bildplatten beliebig ist, entsprechend den oben abgeleiteten Gleichungen Id bis IVd, die folgenden Beziehungen zwischen den Plattenkoordinaten x_1', y_1', x_2' und y_2' und den Raumkoordinaten X_1, Y_1 und Z_1

$$\frac{x_1'}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \tag{27}$$

$$\frac{y_1'}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \tag{28}$$

$$\frac{x_2'}{f} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b \cos\varepsilon \cos(\alpha+\gamma)}{X_1 \sin\gamma + Z_1 \cos\gamma + b \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma)} \tag{29}$$

$$\frac{y_2'}{f} = \frac{Y_1 - b \sin\varepsilon}{X_1 \sin\gamma + Z_1 \cos\gamma + b \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma)} \tag{30}$$

Setzt man in diesen Gleichungen die aus den Gleichungen 23 bis 26 folgenden Werte für x_1', y_1', x_2' und y_2' ein, so entstehen die folgenden Gleichungen

$$\frac{\frac{x_1}{\cos\beta_1 - \frac{y_1}{f}\sin\beta_1}}{f} = \frac{X_1}{Z_1} \tag{31}$$

$$\frac{f \frac{f\sin\beta_1 + y_1\cos\beta_1}{f\cos\beta_1 - y_1\sin\beta_1}}{f} = \frac{Y_1}{Z_1} \tag{32}$$

$$\frac{\frac{x_2}{f}\cos\beta_2 - \frac{y_2}{f}\sin\beta_2}{\frac{x_2}{f}} = \frac{X_1\cos\gamma - Z_1\sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1\sin\gamma + Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)} \tag{33}$$

$$f\,\frac{f\sin\beta_2 + y_2\cos\beta_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{X_1\sin\gamma + Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)}. \tag{34}$$

Ein Vorschlag, den Stereoautographen so auszubilden, daß die durch diese vier Gleichungen ausgedrückten Beziehungen aufrecht erhalten werden, ist in einer Eingabe des Topographen Nowatzki, Berlin, an die Firma Zeiss im Juni 1917 angedeutet worden. Der auf diesen Gleichungen beruhende Lösungsgedanke besteht darin, die Koordinaten x_1, y_1, x_2 und y_2 für die geneigten Bildplatten nicht, wie bei den Lösungen 1 und 2 (Ausführungsformen *E* und *F* des Stereoautographen), unmittelbar zur Ermittlung der Raumkoordinaten zu benutzen, sondern sie erst auf mechanischem Wege in die Koordinaten für die entsprechenden lotrechten Bildplatten umzuwandeln, und alsdann diese so umgewandelten Koordinaten zur Ermittlung der Raumkoordinaten zu benutzen, wobei dann dieselben Mechanismen verwendbar sind wie im Falle lotrechter Bildplatten. Die Durchführung des Vorschlages würde eine Häufung von Mechanismen erfordern, daher wäre ein präzises Arbeiten in Frage gestellt.

Im Anschluß an den Nowatzkischen Vorschlag gelang es dem Verfasser, weitere Lösungen, die auch konstruktiv nicht allzu verwickelt sind, durch die folgende Überlegung zu finden. Dividiert man die Gleichungen 23 bis 26 durch f, so entstehen die Gleichungen

$$\frac{x_1'}{f} = \frac{x_1}{f\cos\beta_1 - y_1\sin\beta_1} \tag{23a}$$

$$\frac{y_1'}{f} = \frac{f\sin\beta_1 + y_1\cos\beta_1}{f\cos\beta_1 - y_1\sin\beta_1} \tag{24a}$$

$$\frac{x_2'}{f} = \frac{x_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2} \tag{25a}$$

$$\frac{y_2'}{f} = \frac{f\sin\beta_2 + y_2\cos\beta_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2}. \tag{26a}$$

Mit den Gleichungen 27 bis 30 ergeben sich daraus die folgenden Gleichungen

$$\frac{x_1}{f\cos\beta_1 - y_1\sin\beta_1} = \frac{X_1}{Z_1} \tag{27a}$$

$$\frac{f\sin\beta_1 + y_1\cos\beta_1}{f\cos\beta_1 - y_1\sin\beta_1} = \frac{Y_1}{Z_1} \tag{28a}$$

$$\frac{x_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2} = \frac{X_1\cos\gamma - Z_1\sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1\sin\gamma + Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)} \tag{33a}$$

$$\frac{f\sin\beta_2 + y_2\cos\beta_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2} = \frac{Y_1 - b\sin\varepsilon}{X_1\sin\gamma + Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)}. \tag{34a}$$

Diese Gleichungen dienen als Grundlage für eine neue Konstruktion des Stereoautographen.

Zunächst soll, wie bei den Ausführungsformen *A* bis *C*, sowie *E* und *F* des Stereoautographen angenommen werden, daß es genügt, die auf der Erhaltung des stereoskopischen Effektes beruhende Nachstellung der rechten Bildplatte in ihrer

Höhenrichtung durch den Vertikalparallaxenschlitten D des Stereokomparators gelegentlich von Hand vorzunehmen, daß also auf die selbsttätige Aufrechterhaltung der durch die Gleichung 34a ausgedrückten Beziehung verzichtet wird. Es ist dann, wie bei jenen Ausführungsformen, nur erforderlich, die Schlitten A, B und C des Stereokomparators mit dem Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1 zu kuppeln. Dabei soll wiederum für die rechte Bildplatte in ihrer Höhenrichtung eine selbsttätige gegenseitige Verschiebung der Bildplatte und des Mikroskops um den gleichen Betrag y_1 wie für die linke Bildplatte vorgesehen sein, so daß die Verschiebung von Hand nur noch den Betrag $y_2 - y_1$ anzunehmen braucht. Da, um die durch die Gleichung 33a ausgedrückte Beziehung aufrechtzuerhalten, die erforderliche Einstellung des kurzen Hebelarms des die Schlitten B_1 und C verbindenden Doppelhebels abhängig von y_2 ist, muß diese Einstellung sowohl von jener selbsttätigen gegenseitigen Verschiebung um den Betrag y_1, als auch von jener Verschiebung von Hand um den Betrag $y_2 - y_1$ abgeleitet werden. Dabei können zwei Fälle unterschieden werden, je nachdem jene selbsttätige gegenseitige Verschiebung um den Betrag y_1 durch eine Verschiebung der beiden Bildplatten oder durch eine Verschiebung des Mikroskops zustande kommt. Der erste Fall führt zu der nachfolgend beschriebenen Lösung 3, der Fig. 20 (Tafel VII) der Zeichnung entspricht. Der zweite Fall ist durch die Lösung 4 dargestellt, zu der Fig. 24 (Tafel VIII) gehört.

d) Ausführungsform G (Lösung 3).

(D. R. P. 313261 vom 9. Juli 1918.)

Die Ausführungsform G des Stereoautographen knüpft an die Ausführungsform C an, die zur Auswertung von Bildplatten dient, bei deren Aufnahme die Objektivachsen horizontal und dabei konvergent (divergent) waren (vgl. Fig. 12, Tafel III). Bei beiden Ausführungsformen liegt für den Stereokomparator der Sonderfall vor, daß der Schlitten A die beiden Bildplatten trägt und daß die Schlitten B und C nebeneinander auf einer gemeinsamen Führung des Schlittens A gleiten. Die gegenüber der Ausführungsform C vorzunehmenden Änderungen ergeben sich aus dem Vergleich der Gleichungen 27a bis 33a mit den Gleichungen Id bis IIId. Sie sind aus Fig. 20 (Tafel VIII) ersichtlich.

Damit die Gleichung 27a beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, muß die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O von der Drehachse O_0, die in Fig. 12, entsprechend der Gleichung Id, den unveränderlichen Wert f hat, jetzt, entsprechend der Gleichung 27a, den mit y_1 veränderlichen Wert $f\cos\beta_1 - y_1\sin\beta_1$ annehmen. Demzufolge darf der Schlitten d_5 während des Kopierens nicht mehr durch die Klemmschraube d_{10} auf der Grundplatte G festgestellt sein, sondern muß mit dem Schlitten A so gekuppelt werden, daß er, wenn dieser Schlitten aus derjenigen Lage, in der das Mikroskop M auf einen Bildpunkt mit der Ordinate $y_1 = 0$ eingestellt ist, um den Betrag y_1 verschoben wird, eine Verschiebung um $y_1\sin\beta_1$ erfährt, die bei positivem Wert von $y_1\sin\beta_1$ so gerichtet ist, daß sie eine Verkleinerung des Abstandes des Mitnehmers O von der Drehachse O_0 bewirkt. Die Verschiebung des Schlittens d_5 muß also, infolge der gewählten Ausbildung des Stereokomparators und infolge der vorgeschriebenen Lage der Bildplatten auf dem Stereokomparator, bei positivem Winkel β_1 der Verschiebung des Schlittens A entgegengesetzt gerichtet sein. Die Kupplung kann in einfacher Weise durch einen Doppelhebel bewirkt werden, dessen Drehachse in bezug auf die Grundplatte G fest angeordnet ist und dessen einer, an dem Schlitten d_5 angreifender Arm eine von dem

Tafel VII.

Ausführungsform G.

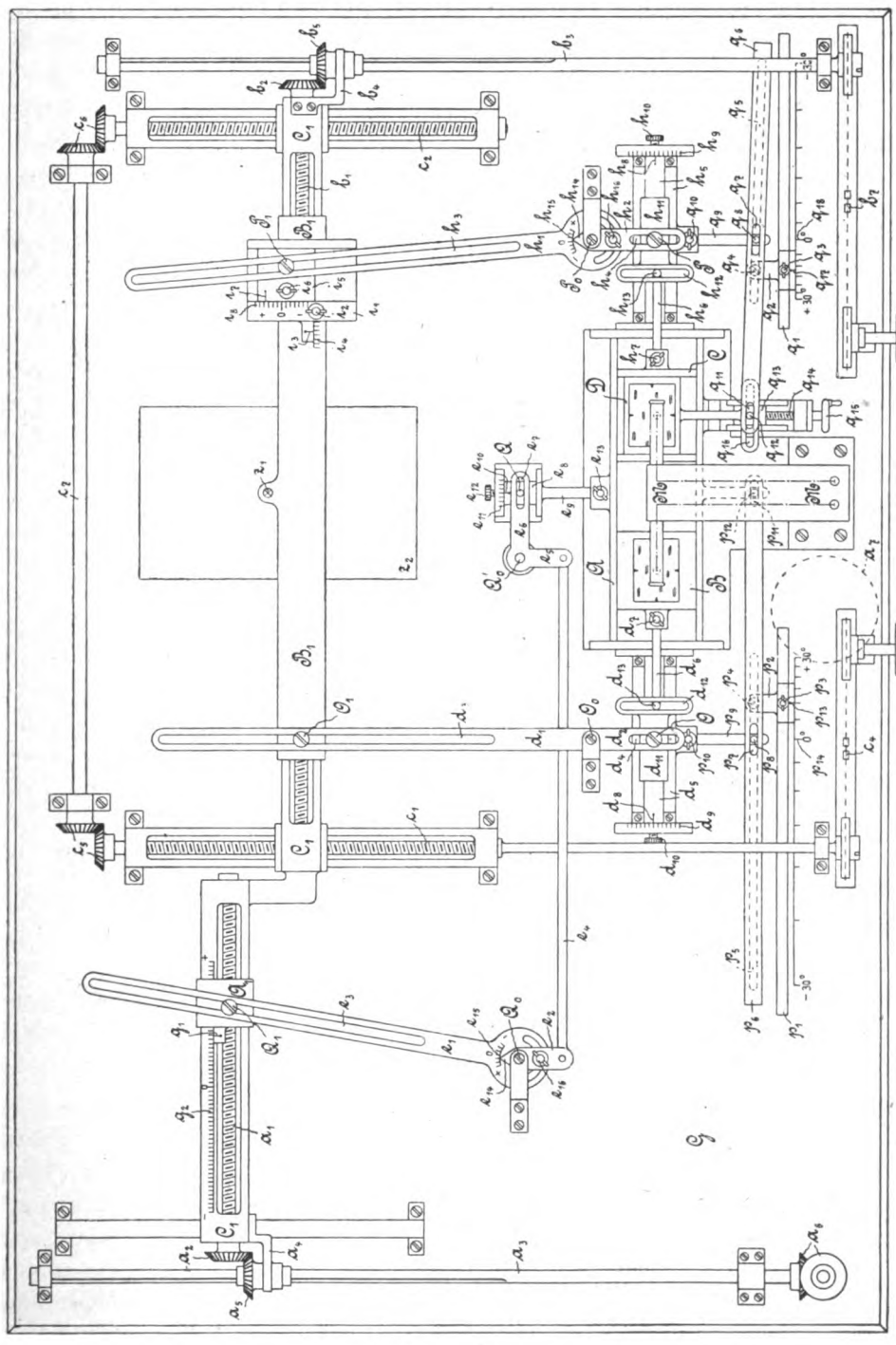


Fig. 20.

Sinus von β_1 abhängige Länge erhält. Abweichend hiervon soll die folgende Anordnung gewählt werden, durch die ein exzentrischer Angriff an dem Schlitten d_5 vermieden wird. In einer der Breitenrichtung parallelen Führungsnut p_1 der Grundplatte G ist ein Schlitten p_2 einstellbar angeordnet, der durch eine Klemmschraube p_3 auf der Grundplatte G festgestellt werden kann. Der Schlitten p_2 trägt einen Drehbolzen p_4, der durch einen Schlitz p_5 des unteren Flansches eines zwei übereinander liegende Flanschen enthaltenden Hebels p_6 hindurchgreift, wobei auf diesem unteren Flansch ein in der Schlitzrichtung einstellbarer Schlitten angeordnet zu denken ist, der mit einer Bohrung ausgestattet ist, durch die der Drehbolzen p_4 ebenfalls, und zwar mit Passung, hindurchgreift, und der auf dem unteren Flansch feststellbar ist. In dem oberen Flansch des Hebels p_6 sind zwei Schlitze angeordnet. In den einen Schlitz p_7 greift ein Mitnehmer p_8 eines Schiebers p_9 ein, der einen Teil des Schlittens d_5 bildet. Dieser Schieber ist für Justierzwecke gegenüber dem Schlitten d_5 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet und kann durch eine Klemmschraube p_{10} auf dem Schlitten d_5 festgestellt werden. In den anderen Schlitz, p_{11}, greift ein Mitnehmer p_{12} des Schlittens A ein. Durch einen Zeiger p_{13} des Schlittens p_2 wird an einer Skala p_{14} der Grundplatte G die in die Breitenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Drehbolzens p_4 von dem Mitnehmer p_8 angezeigt. Wird diese Komponente mit E_1 und die entsprechende Komponente des gegenseitigen Abstandes der beiden Mitnehmer p_8 und p_{12} mit F_1 bezeichnet, so muß, wenn der Schlitten d_5 die oben angegebene Verschiebung erfahren soll, die Gleichung bestehen (vgl. Fig. 21):

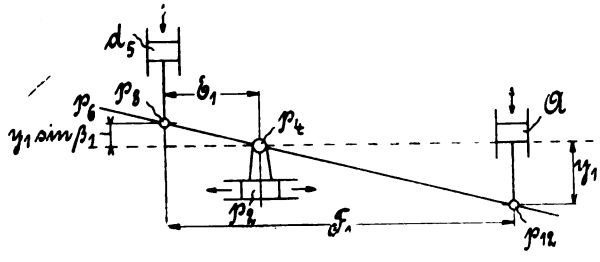


Fig. 21.

$$\frac{E_1}{y_1 \sin \beta_1} = \frac{F_1 - E_1}{y_1}.$$

Daraus folgt für E_1

$$E_1 = F_1 \frac{\sin \beta_1}{1 + \sin \beta_1}. \qquad 35)$$

Ist, wie angenommen, F_1 unveränderlich, so ist E_1 nur veränderlich mit dem Winkel β_1. Es wird also, um wiederholte Ausrechnungen zu vermeiden, die Skala p_{14} nach Winkeln beziffert. Die Berechnung der Teilung der Skala ist nach der Gleichung 35 ohne weiteres möglich. Liegt der Drehbolzen p_4 lotrecht unter dem Mitnehmer p_8, ist also $E_1 = 0$, so befindet sich der Schlitten p_2 in seiner Nullstellung, in der sein Zeiger p_{13} an der Skala p_{14} den Winkel Null anzeigen muß. Nimmt der Drehbolzen eine Stellung zwischen den beiden Mitnehmern p_8 und p_{12} ein, so muß ein positiver Winkel β_1 angezeigt werden.

Damit die Gleichung 27a erfüllt wird, ist die Kupplung folgendermaßen einzustellen. Der Schlitten A ist in seine Nullstellung zu bringen, in der das Mikroskop M auf einen Bildpunkt mit der Koordinate $y_1 = 0$ eingestellt ist. Der Schlitten d_5 ist in diejenige Lage zu bringen, in der sein Zeiger d_8 an der Skala d_9 den Wert $f \cos \beta_1$ anzeigt. Der Schlitten p_2 ist so einzustellen, daß sein Zeiger p_{13} an der Skala p_{14} den Winkel β_1 anzeigt. Werden dann die Klemmschrauben p_3 und p_{10} angezogen, so ist

die Kupplung richtig eingestellt. Die Klemmschraube d_{10} muß während des Kopierens gelöst bleiben. Ist im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Abszisse $x_1 = 0$ eingestellt, so muß sich der Doppelhebel d_1, d_2 in seiner Nullstellung befinden, in der er parallel der Tiefenrichtung ist. In diesem Falle gibt der Zeichenstift z_1 auf dem Zeichenbrett z_2 einen Objektpunkt mit der Koordinate $X_1 = 0$ an.

Damit die Gleichung 28a beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, werden die Arme e_1 und e_2 des die Schlitten A_1 und A verbindenden Doppelhebels e_1, e_2 der Fig. 12 (Tafel III), wie bereits bei der Ausführungsform E des Stereoautographen in Fig. 15 (Tafel V) angegeben ist, in ihrer Drehebene gegeneinander einstellbar gemacht. Da jedoch der Schlitten A bei der Ausführungsform G, abweichend von der Ausführungsform E, die beiden Bildplatten trägt, so muß die Skala g_2 des Schlittens C_1 entgegengesetzt (also wie bei der Ausführungsform C in Fig. 12, Tafel III) gerichtet sein und müssen die beiden Arme e_1 und e_2 so eingestellt werden, daß sie, vom langen Arm e_1 aus im Uhrzeigersinn gerechnet, den Winkel $180 - \beta_1$ miteinander einschließen. Die Gradteilung e_{15} des Armes e_1 nimmt also entgegen dem Uhrzeigersinn zu. Die in die Breitenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers Q von der Drehachse Q_0' muß wie in Fig. 15 (Tafel V) den Wert f haben. Die Nullstellung des Hebelsystems e_1, e_2; e_4; e_5, e_6 entspricht der in Fig. 15. Der Zeiger g_1 des Schlittens A_1 zeigt an der Skala g_2 wiederum den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ an, wobei allerdings, infolge der entgegengesetzten Richtung der Skala g_2, die Neigung des Armes e_1 in bezug auf die Tiefenrichtung der Fig. 15 gegenüber symmetrisch nach der entgegengesetzten Seite angeordnet ist.

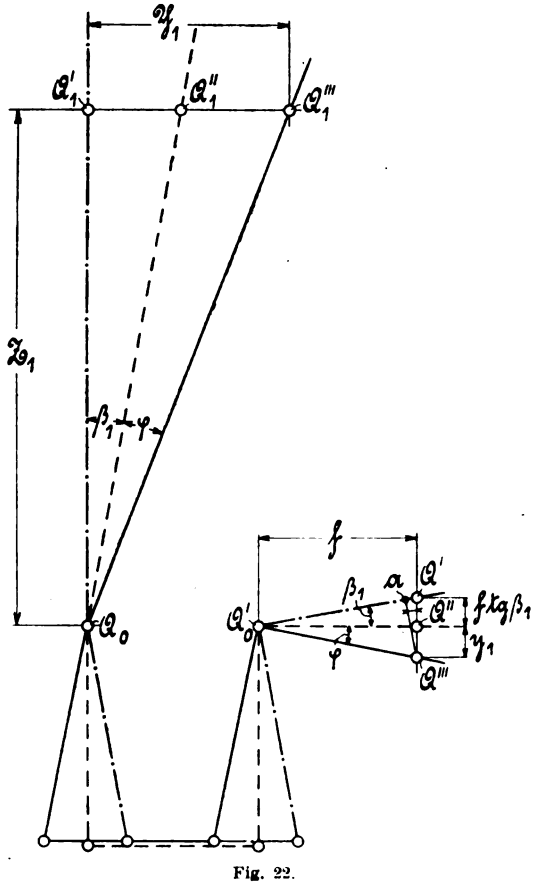


Fig. 22.

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen gegenseitigen Einstellung der Arme e_1 und e_2 die Gleichung 28a richtig erfüllt wird, folgt aus Fig. 22. Darin ist das Hebelsystem e_1, e_2; e_4; e_5, e_6 in drei Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten X_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = 0$, zu der die Plattenkoordinate $y_1 = f \operatorname{tg} \beta_1$ gehört. Die durch gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Hebelsystems, die der Einstellung eines Objektpunktes entspricht, zu dem die Plattenkoordinate $y_1 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate Y_1 und der zugehörigen Plattenkoordi-

nate y_1. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von Q''' eine Senkrechte auf $Q_0' Q'$ fällt:

$$\operatorname{tg}(\beta_1 + \varphi) = \frac{Y_1}{Z_1} = \frac{\overline{Q'''a}}{\overline{Q_0'a}} = \frac{\overline{Q'''a}}{Q_0'Q' - Q'a} = \frac{(f \operatorname{tg}\beta_1 + y_1)\cos\beta_1}{\frac{f}{\cos\beta_1} - (f\operatorname{tg}\beta_1 + y_1)\sin\beta_1}$$

$$= \frac{f\sin\beta_1 + y_1\cos\beta_1}{f\cos\beta_1 - y_1\sin\beta_1},$$

was zu beweisen war. (Der Nachweis könnte auch dadurch erbracht werden, daß die Identität der Gleichung 28a mit der Gleichung IIf oder auch mit der Gleichung II festgestellt wird, was durch eine einfache Auflösung ohne weiteres möglich ist.)

Damit die Gleichung 33a beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, muß die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers P von der Drehachse P_0, die in Fig. 12, entsprechend der Gleichung IIId, den unveränderlichen Wert f hat, jetzt, entsprechend der Gleichung 33a, den mit y_2 veränderlichen Wert $f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2$ annehmen. Demgemäß darf der Schlitten h_5 während des Kopierens nicht mehr durch die Klemmschraube h_{10} auf der Grundplatte G festgestellt sein, sondern muß mit den Schlitten A und D so gekuppelt werden, daß er, wenn der Schlitten A aus derjenigen Lage, in der das Mikroskop M auf einen Bildpunkt mit der Ordinate $y_1 = 0$ eingestellt ist, um den Betrag y_1, und wenn dabei der Schlitten D um den Betrag $y_2 - y_1$ verschoben wird, eine Verschiebung um $y_2\sin\beta_2$ erfährt. Diese Verschiebung des Schlittens h_5 ist bei positivem Wert von $y_2\sin\beta_2$ so gerichtet, daß sie eine Verkleinerung des Abstandes des Mitnehmers P von der Drehachse P_0 bewirkt; sie setzt sich aus zwei Teilverschiebungen zusammen, deren eine der Verschiebung des Schlittens A und deren andere der Verschiebung des Schlittens D entspricht. Infolge der gewählten Ausbildung des Stereokomparators und infolge der vorgeschriebenen Lage der Bildplatten auf dem Stereokomparator muß bei positivem Winkel β_2 jede dieser Teilverschiebungen der sie verursachenden Schlittenverschiebung entgegengesetzt gerichtet sein. Die Kupplung soll in ähnlicher Weise, wie für die linke Bildplatte angegeben ist, angenommen werden. In einer der Breitenrichtung parallelen Führungsnut q_1 der Grundplatte G ist ein Schlitten q_2 einstellbar angeordnet, der durch eine Klemmschraube q_3 auf der Grundplatte G festgestellt werden kann. Der Schlitten q_2 trägt einen Drehbolzen q_4, der durch einen Schlitz q_5 des unteren Flansches eines zwei übereinander liegende Flanschen enthaltenden Hebels q_6 hindurchgreift, wobei auf diesem unteren Flansch ein in der Schlitzrichtung einstellbarer Schlitten angeordnet zu denken ist, der mit einer Bohrung ausgestattet ist, durch die der Drehbolzen q_4 ebenfalls, und zwar mit Passung, hindurchgreift, und der auf dem unteren Flansch feststellbar ist. In dem oberen Flansch des Hebels q_6 sind zwei Schlitze angeordnet. In den einen Schlitz q_7 greift ein Mitnehmer q_8 eines Schiebers q_9 ein, der einen Teil des Schlittens h_5 bildet. Dieser Schieber ist für Justierzwecke gegenüber dem Schlitten h_5 in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet und kann durch eine Klemmschraube q_{10} auf dem Schlitten h_5 festgestellt werden. In den anderen Schlitz q_{11} greift ein Mitnehmer q_{12} eines Schlittens q_{13} ein, der auf dem Schlitten A in dessen Verschiebungsrichtung einstellbar angeordnet ist und durch eine Gewindespindel q_{14} von einem Handrad q_{15} aus angetrieben werden kann. Der Schlitten q_{13} ist so mit dem Schlitten D gekuppelt, daß er nur an den Verschiebungen dieses Schlittens in der Tiefenrichtung teilnimmt (bei Verschiebungen des Schlittens C also seine Lage gegenüber dem Schlitten A beibehält). Zu dem Zweck greift der Mitnehmer q_{12}

noch in eine in der Breitenrichtung liegende Kulisse q_{16} des Schlittens D. Durch einen Zeiger q_{17} des Schlittens q_2 wird an einer Skala q_{18} der Grundplatte G die in die Breitenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Drehbolzens q_4 von dem Mitnehmer q_8 angezeigt. Wird diese Komponente mit E_2, und die entsprechende Komponente des gegenseitigen Abstandes der beiden Mitnehmer q_8 und q_{12} mit F_2 bezeichnet, so muß, wenn der Schlitten h_5 die oben angegebene Verschiebung erfahren soll, die Gleichung bestehen (vgl. Fig. 23)

$$\frac{E_2}{y_2 \sin \beta_2} = \frac{F_2 - E_2}{y_2}.$$

Daraus folgt für E_2

$$E_2 = F_2 \frac{\sin \beta_2}{1 + \sin \beta_2}. \qquad 36)$$

Bei unveränderlichem Wert von F_2 ist E_2 nur veränderlich mit dem Winkel β_2. Deshalb wird die Skala q_{18} wie die Skala p_{14} nach Winkeln beziffert. Zur Berechnung ihrer Teilung dient die Gleichung 36. Liegt der Drehbolzen q_4 lotrecht unter dem Mitnehmer q_8, ist also $E_2 = 0$, so befindet sich der Schlitten q_2 in seiner Nullstellung, in der sein Zeiger q_{17} an der Skala q_{18} den Winkel Null anzeigen muß. Nimmt der Drehbolzen eine Stellung zwischen den beiden Mitnehmern q_8 und q_{12} ein, so muß ein positiver Winkel β_2 angezeigt werden.

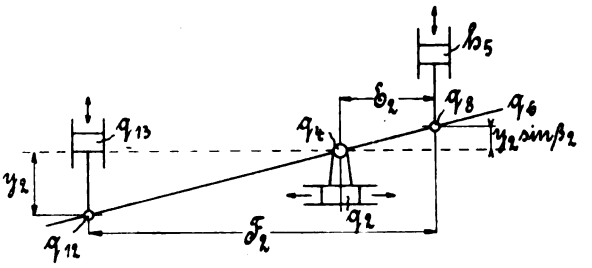


Fig. 23.

Damit die Gleichung 33a erfüllt wird, ist die Kupplung folgendermaßen einzustellen. Der Schlitten A ist in seine Nullstellung zu bringen, in der das Mikroskop M auf einen Bildpunkt mit der Koordinate $y_1 = 0$ eingestellt ist. Auch der Schlitten D ist in seine Nullstellung überzuführen, in der das Mikroskop auf einen Bildpunkt mit der Koordinate $y_2 = 0$ eingestellt ist. Der Schlitten h_5 ist in diejenige Lage zu bringen, in der sein Zeiger h_8 an der Skala h_9 den Wert $f \cos \beta_2$ anzeigt. Der Schlitten q_2 ist so einzustellen, daß sein Zeiger q_{17} an der Skala q_{18} den Winkel β_2 anzeigt. Werden dann die Klemmschrauben q_3 und q_{10} angezogen, so ist die Kupplung richtig eingestellt. Die Klemmschraube h_{10} muß während des Kopierens gelöst bleiben. Die Einstellung der Schlitten i_1 und i_5 und die Einstellung der Arme h_1 und h_2 des Doppelhebels gegeneinander ist, da die rechten Seiten der Gleichungen 33a und IIId übereinstimmen, wie in Fig. 12 (Tafel III) zu wählen. Ist im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Abszisse $x_2 = 0$ eingestellt, so muß sich der Doppelhebel h_1, h_2 in seiner Nullstellung befinden, die der der Fig. 12 entspricht.

Eingestellt ist der Apparat wie in Fig. 15 und 18 (Tafel V und VI) für den Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene. Beim Gebrauch müssen außer den Klemmschrauben d_{10} und h_{10} sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung stimmt mit der bei der Ausführungsform A angegebenen überein.

e) Ausführungsform H (Lösung 4).

(D. R. P. 313261 vom 9. Juli 1918).

Die Ausführungsform H des Stereoautographen (vgl. Fig. 24, Tafel VIII) weist gegenüber der Ausführungsform G (vgl. Fig. 20, Tafel VII) lediglich Änderungen auf.

Tafel VIII.

Ausführungsform H.

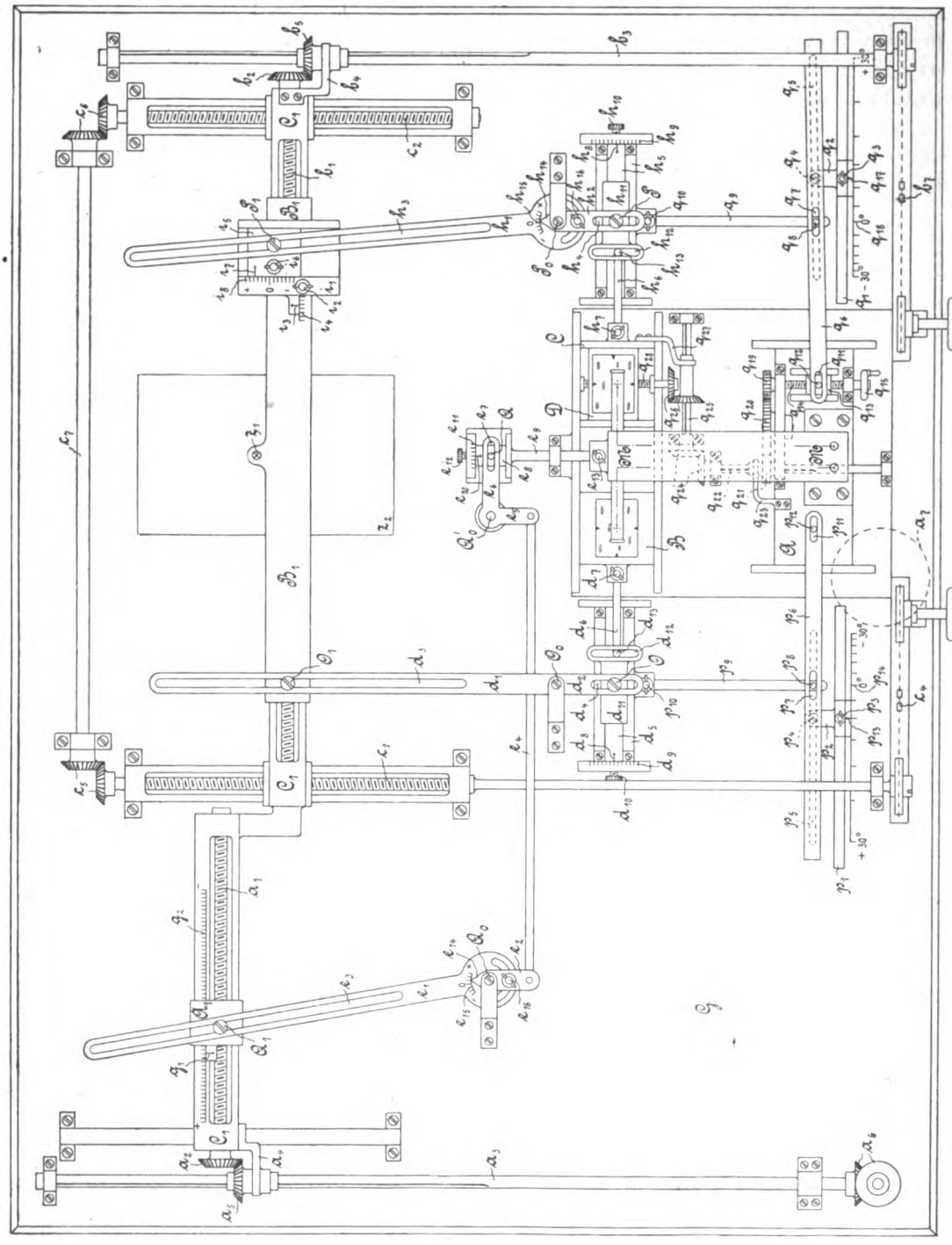


Fig. 21.

die sich dadurch nötig machen, daß der Schlitten A des Stereokomparators statt der beiden Bildplatten das Mikroskop M trägt, daß also das Einstellen eines Bildpunktes die entgegengesetzte Verschiebung des Schlittens A erfordert wie das Einstellen desselben Bildpunktes im Falle der Fig. 20.

Zur selbsttätigen Aufrechterhaltung der Gleichung 27a muß der Schlitten d_5 bei einer Verschiebung des Schlittens A aus seiner Nullstellung um den Betrag y_1 wiederum eine Verschiebung um $y_1 \sin \beta_1$ erfahren, die bei positivem Wert von $y_1 \sin \beta_1$ so gerichtet ist, daß der Abstand des Mitnehmers O von der Drehachse O_0 verkleinert wird. Diese Verschiebung muß aber jetzt, infolge der geänderten Ausbildung des Stereokomparators, bei positivem Winkel β_1 der Verschiebung des Schlittens A gleich gerichtet sein. Die verlangte Verschiebung des Schlittens d_5 kann durch die gleiche Kupplung der Schlitten d_5 und A erzielt werden, wie in Fig. 20 angegeben ist. Nur muß die Größe der in die Breitenrichtung fallenden Komponente des Abstandes des Drehbolzens p_4 von dem Mitnehmer p_8 anders gewählt werden. Bezeichnet man diese Komponente wiederum mit E_1, und die entsprechende Komponente des gegenseitigen Abstandes der beiden Mitnehmer p_8 und p_{12} wiederum mit F_1, so muß jetzt die Gleichung bestehen (vgl. Fig. 25):

$$\frac{E_1}{y_1 \sin \beta_1} = \frac{F_1 + E_1}{y_1}.$$

woraus für E_1 folgt

$$E_1 = F_1 \frac{\sin \beta_1}{1 - \sin \beta_1}. \qquad 37)$$

Diese Gleichung dient als Grundlage zur Berechnung der nach Winkeln bezifferten Teilung der Skala p_{14}. Liegt der Drehbolzen p_4 lotrecht unter dem Mitnehmer p_8, ist also $E_1 = 0$, so befindet sich der Schlitten p_2 in seiner Nullstellung, in der sein Zeiger p_{13} an der Skala p_{14} den Winkel Null anzeigen muß. Nimmt der Drehbolzen eine Stellung ein, in der sein Abstand von dem Mitnehmer p_{12} größer ist als der gegenseitige Abstand der beiden Mitnehmer, so muß ein positiver Winkel β_1 angezeigt werden. Die Einstellung der Kupplung hat wie in Fig. 20 (Tafel VII) zu erfolgen. Die Nullstellung des Doppelhebels d_1, d_2 entspricht der in Fig. 20.

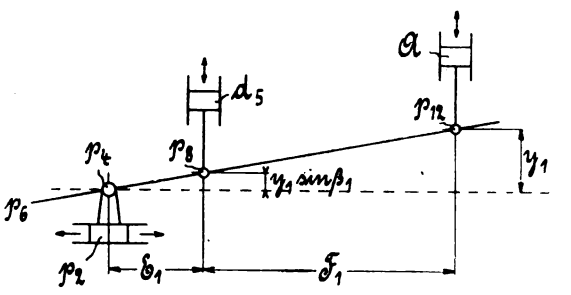


Fig. 25.

Damit die Gleichung 28a beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten wird, ist die gleiche Verbindung zwischen den Schlitten A_1 und A verwendbar, wie in Fig. 20 angegeben ist. Infolge der abweichenden Ausbildung des Stereokomparators müssen jedoch die Arme e_1 und e_2 so eingestellt werden, daß sie, vom langen Arm e_1 aus im Uhrzeigersinn gerechnet, den Winkel $180 + \beta_1$ miteinander einschließen. Es muß ferner die Skala g_2 des Schlittens C_1 entgegengesetzt gerichtet sein, und die Gradteilung e_{15} des Armes e_1 muß im Uhrzeigersinn zunehmen. Die Anordnung ist also die gleiche wie bei der Ausführungsform E in Fig. 15 (Tafel V), bei der für den Stereokomparator der gleiche Sonderfall vorliegt, daß der Schlitten A das Mikroskop trägt. Die Nullstellung des Hebelsystems e_1, e_2, e_4, e_5, e_6 entspricht der in Fig. 15.

Zur selbsttätigen Aufrechterhaltung der Gleichung 33a muß der Schlitten h_5,

wenn der Schlitten A aus seiner Nullstellung um den Betrag y_1, und wenn dabei der Schlitten D um den Betrag $y_2 - y_1$ verschoben wird, wiederum eine Verschiebung um $y_2 \sin \beta_2$ erfahren, die bei positivem Wert von $y_2 \sin \beta_2$ so gerichtet ist, daß der Abstand des Mitnehmers P von der Drehachse P_0 verkleinert wird. Es darf aber jetzt infolge der geänderten Ausbildung des Stereokomparators bei positivem Winkel β_2 nur die der Verschiebung des Schlittens D entsprechende Teilverschiebung des Schlittens h_5 der Verschiebung des Schlittens D entgegengesetzt gerichtet sein. Dagegen muß die der Verschiebung des Schlittens A entsprechende Teilverschiebung des Schlittens h_5 die gleiche Richtung haben wie die Verschiebung des Schlittens A. Damit der Schlitten h_5 die verlangte Verschiebung erfährt, muß er wiederum mit den Schlitten A und D gekuppelt werden. Um die Kupplung einfach zu gestalten, so daß die Übertragung der Verschiebungen der Schlitten A und D auf den Schlitten h_5 wie in Fig. 20 (Tafel VII) durch ein gemeinsames Hebelsystem möglich ist, muß entweder die Verschiebung des Schlittens A oder die des Schlittens D in umgekehrtem Sinne übertragen werden. Im ersteren Falle könnte sowohl das in Fig. 20 angegebene Hebelsystem als auch die dort angegebene, zur Einstellung des Drehbolzens q_4 dienende, nach Winkeln bezifferte Skala q_{18} unverändert beibehalten werden. Im zweiten Falle könnte zwar das Hebelsystem der Fig. 20 verwendet werden, doch müßte die Teilung der Skala q_{18} geändert werden. Diesem zweiten Falle soll hier aus konstruktiven Gründen der Vorzug gegeben werden.

Die neue Teilung der Skala q_{18} ergibt sich durch folgende Überlegung. Bezeichnet man die in die Breitenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Drehbolzens q_4 von dem Mitnehmer q_8 wiederum mit E_2, und die entsprechende Komponente des gegenseitigen Abstandes der beiden Mitnehmer q_8 und q_{12} wiederum mit F_2, so muß jetzt die Gleichung bestehen (vgl. Fig. 26)

$$\frac{E_2}{y_2 \sin \beta_2} = \frac{F_2 - E_2}{y_2},$$

woraus für E_2 folgt

$$E_2 = F_2 \frac{\sin \beta_2}{1 + \sin \beta_2}. \tag{38}$$

Diese Gleichung dient als Grundlage zur Berechnung der nach Winkeln bezifferten Teilung der Skala q_{18}. Liegt der Drehbolzen q_4 lotrecht unter dem Mitnehmer q_8, ist also $E_2 = 0$, so befindet sich der Schlitten q_2 in seiner Nullstellung, in der sein Zeiger q_{17} an der Skala q_{18} den Winkel Null anzeigen muß. Nimmt der Drehbolzen eine Stellung ein, in der sein Abstand von dem Mitnehmer q_{12} größer ist als der gegenseitige Abstand der beiden Mitnehmer, so muß ein positiver Winkel β_2 angezeigt werden.

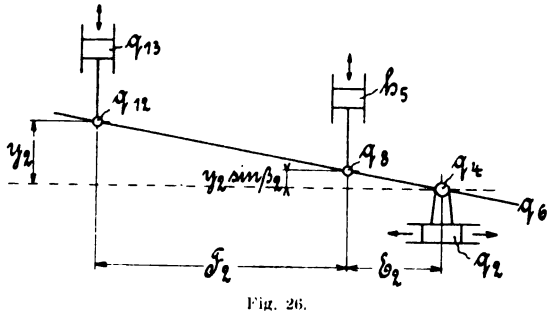


Fig. 26.

Damit der Schlitten q_{13}, der den in den Schlitz q_{11} des Hebels q_6 eingreifenden Mitnehmer q_{12} trägt, beim Verschieben des Schlittens D in der Tiefenrichtung um $y_2 - y_1$, wie erforderlich, eine der Verschiebung dieses Schlittens gleich große aber entgegengesetzt gerichtete Verschiebung gegenüber dem Schlitten A erfährt (ohne daß durch Verschiebungen des Schlittens C hervorgerufene Verschiebungen des Schlittens D

in der Breitenrichtung auf die Einstellung des Schlittens q_{13} Einfluß haben), ist die ihn antreibende, auf dem Schlitten A gelagerte Gewindespindel q_{14} mit Linksgewinde versehen und trägt an ihrem einen Ende ein Zahnrad q_{19}. Dieses steht mit einem an dem Schlitten A gelagerten Zahnrad q_{20} im Eingriff, das in ein drittes Zahnrad, q_{21}, von der gleichen Teilung und Zähnezahl wie das Rad q_{19} eingreift. Dieses dritte Zahnrad ist längs einer auf der Grundplatte G drehbar gelagerten, der Verschiebungsrichtung des Schlittens A parallelen, genuteten Welle q_{22} verschiebbar angeordnet und wird durch einen Mitnehmer q_{23} des Schlittens A von diesem Schlitten mitgenommen. Durch ein Kegelräderpaar q_{24} wird die Drehung der genuteten Welle q_{22} auf eine zweite genutete Welle, q_{25}, übertragen, die auf der Grundplatte G parallel der Breitenrichtung gelagert ist. Ein zweites Kegelräderpaar, q_{26}, dessen eines Rad längs dieser genuteten Welle q_{25} verschiebbar angeordnet ist und durch einen Mitnehmer q_{27} des Schlittens C von diesem Schlitten mitgenommen wird, überträgt die Drehung dieser genuteten Welle q_{25} auf eine den Schlitten D antreibende Gewindespindel q_{28} mit Rechtsgewinde, die auf dem Schlitten C parallel der Tiefenrichtung gelagert ist, derart, daß diese Spindel stets die nach Größe und Richtungssinn gleiche Drehung erfährt wie die genutete Welle q_{22}. Die Einstellung der Kupplung hat wie in Fig. 20 zu erfolgen. Auch entspricht die Nullstellung des Doppelhebels h_1, h_2 der in Fig. 20.

Eingestellt ist der Apparat wie in Fig. 15, 18 und 20 (Tafel V bis VII) für den Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene. Beim Gebrauch müssen außer den Klemmschrauben d_{10} und h_{10} sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung stimmt mit der bei der Ausführungsform A angegebenen überein.

B. Selbsttätiger Antrieb des Vertikalparallaxenschlittens D.

Wie die Ausführungsformen A bis C des Stereoautographen zur Auswertung von Bildplatten, die mit Objektiven von horizontaler Achsenrichtung gewonnen sind, können auch die Ausführungsformen E bis H zur Auswertung von Bildplatten, die mit Objektiven von nicht horizontaler und beliebiger gegenseitiger Achsenrichtung gewonnen sind, weiter so ausgebildet werden, daß der Vertikalparallaxenschlitten D selbsttätig eingestellt wird, so daß dann also sämtliche zwischen den Plattenkoordinaten und den Raumkoordinaten bestehenden Beziehungen selbsttätig aufrechterhalten werden. Die einfachste konstruktive Lösung dafür ergibt sich, wenn für den Stereokomparator der Sonderfall der Fig. 9 vorliegt, wenn also das Mikroskop M fest angeordnet ist, und wenn dabei dem Schlitten A nur die Einstellung der linken Bildplatte übertragen ist. Dann ist der Schlitten D nicht, wie bei denjenigen Ausführungsformen, bei denen er von Hand eingestellt werden muß, um $y_2 - y_1$, sondern um y_2 zu verschieben, und es ist also nur nötig, ihn derart mit dem Schlitten A_1 zu kuppeln, daß die zwischen y_2 und den Raumkoordinaten bestehende, durch die Gleichung IV, bzw. durch die Gleichung 34a ausgedrückte Beziehung selbsttätig aufrechterhalten wird.

Am besten zur entsprechenden Weiterbildung geeignet ist die durch Fig. 20 (Tafel VII) dargestellte Ausführungsform G, die auf den Gleichungen 27a bis 33a beruht. Bevor jedoch auf die neue Konstruktion eingegangen werden soll, möge die zur mechanischen Umsetzung wenig geeignete Gleichung 34a noch passend umgeformt werden. Es ergeben sich zwei zweckmäßige neue Gleichungsformen. Die eine

entsteht durch eine Division des Zählers und Nenners der rechten Seite der Gleichung 34a durch $\cos\gamma$:

$$\frac{f\sin\beta_2 + y_2\cos\beta_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2} = \frac{\dfrac{Y_1}{\cos\gamma} - \dfrac{b\sin\varepsilon}{\cos\gamma}}{X_1\operatorname{tg}\gamma + Z_1 + \dfrac{b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)}{\cos\gamma}} \qquad 34\,b)$$

Die andere entsteht, indem in die Gleichung 34a für X_1 der aus der Gleichung 33a folgende Wert

$$X_1 = \frac{(f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2)[b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma) - Z_1\sin\gamma] - x_2[Z_1\cos\gamma + b\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)]}{x_2\sin\gamma - (f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2)\cos\gamma}$$

eingesetzt wird.

$$\frac{f\sin\beta_2 + y_2\cos\beta_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2 - x_2\operatorname{tg}\gamma} = \frac{Y_1\cos\gamma - b\cos\gamma\sin\varepsilon}{Z_1 + b\sin\alpha\cos\varepsilon} \qquad 34\,c)$$

Jede dieser beiden Gleichungen ermöglicht eine verhältnismäßig einfache Lösung. *Beide Lösungen stellen den Stereoautographen in derjenigen Form dar, in der er bei denkbar einfachster Bedienung und bei Herabsetzung der persönlichen Fehler des Beobachters auf ein Mindestmaß am leistungsfähigsten ist*[1]. Im folgenden sollen beide Lösungen beschrieben werden.

a) Ausführungsform *J* (Lösung 1).

(D. R. P. 313261 vom 9. Juli 1918).

Die Ausführungsform *J* des Stereoautographen (vgl. Fig. 27, Tafel IX) knüpft an die durch Fig. 20 (Tafel VII) dargestellte Ausführungsform *G* an. Sie unterscheidet sich von dieser in der Hauptsache dadurch, daß der Schlitten *D* selbsttätig eingestellt wird. Abweichend ist ferner, daß der Schlitten *A* nur die Einstellung der linken Bildplatte regelt, und daß der Schlitten *D* den untersten Schlitten des Kreuzschlittensystems *C, D* bildet. Infolge dieser geänderten Ausbildung des Stereokomparators macht sich nur eine Änderung der Verbindung des Hebels q_6 mit dem Schlitten *D* nötig. Da dieser Schlitten jetzt eine Einstellung um y_2 (statt wie vorher um $y_2 - y_1$) erfährt, und da er ferner in der Breitenrichtung unverschieblich angeordnet ist, wird eine Verbindung wesentlich einfacher. Der in den Schlitz q_{11} des Hebels q_6 eingreifende Mitnehmer q_{12} sitzt nämlich unmittelbar auf dem Schlitten *D*.

Die Gleichung 34b kann durch eine ähnliche Kupplung des Schlittens A_1 mit dem Schlitten *D* selbsttätig aufrechterhalten werden wie im Falle der Ausführungsform *D* des Stereoautographen (vgl. Fig. 14, Tafel IV), bei der ebenfalls ein selbsttätiger Antrieb des Schlittens *D* vorgesehen ist. Entsprechend der Abweichung der Gleichung 34b von der der Ausführungsform *D* zugrunde liegenden Gleichung IVe muß jedoch die Kupplung die folgenden Änderungen erfahren. Die Arme j_1 und j_2 werden in ihrer Drehebene gegeneinander einstellbar gemacht. Ein Zeiger j_{14} des Armes j_2 zeigt an einer entgegen dem Uhrzeigersinne zunehmenden Gradteilung j_{15} des Armes j_1 das Supplement des Neigungswinkels der beiden Arme an. Eine Klemmschraube j_{16} dient dazu, die Arme gegeneinander festzustellen. Das Kreuzschlittensystem k_1, k_5, dessen oberster Schlitten k_5 den Mitnehmer R_1 trägt, ist nicht mehr unmittelbar auf dem Schlitten A_1 angeordnet, sondern auf einem Schlitten A_1', der eine solche Lage gegenüber dem Schlitten A_1 hat, daß der Mitnehmer R_1, wenn die Schlitten

[1]) Beide Lösungen sind vom Verfasser 1917 im Anschluß an die vorstehend beschriebenen Lösungen 3 und 4 angegeben worden.

Tafel IX.

Ausführungsform J.

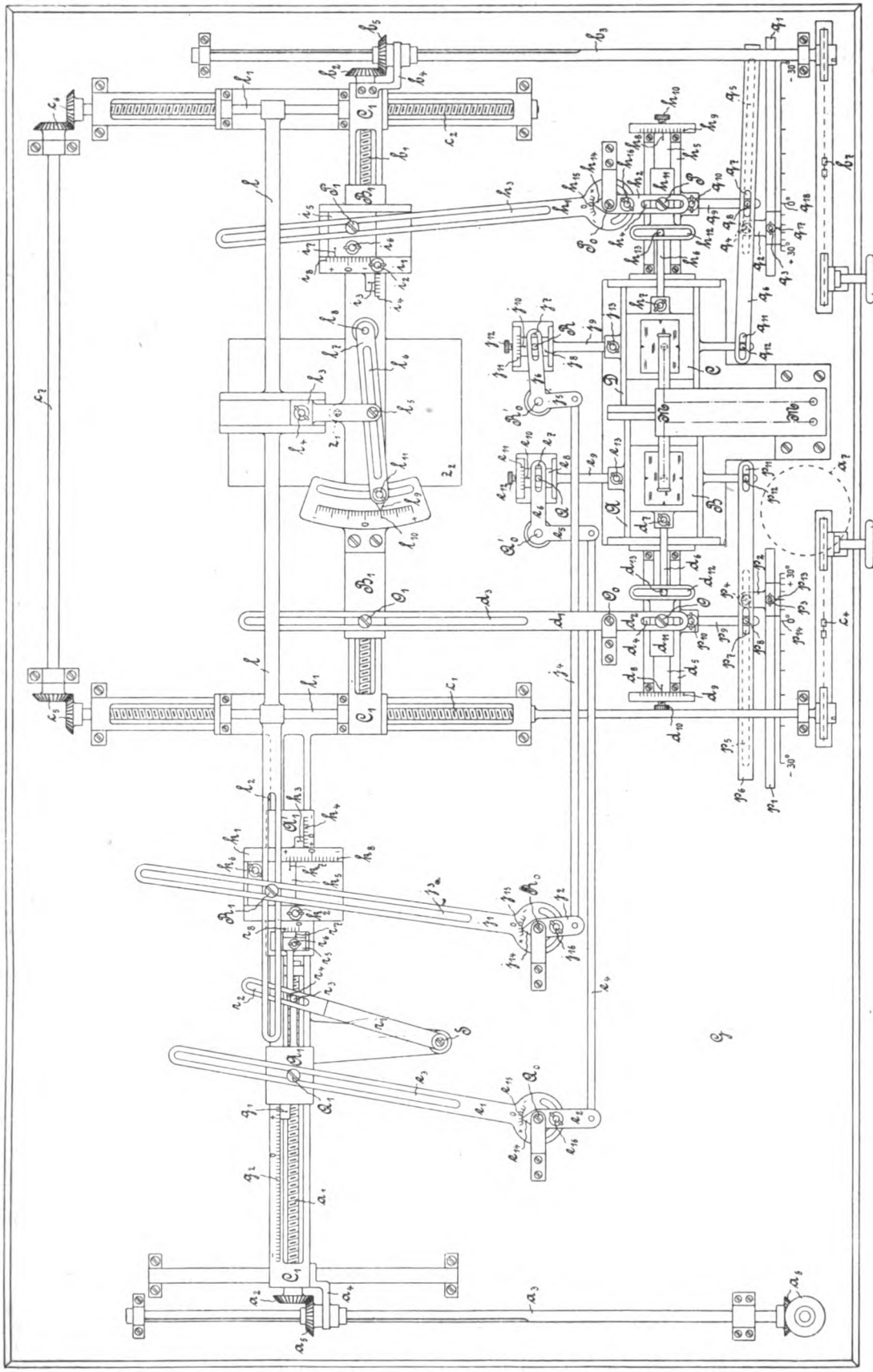


Fig. 27.

k_1, k_5 und A_1 sich in ihren Nullstellungen befinden, mit der Drehachse R_0 des Doppelhebels j_1, j_2 in einer die Tiefenrichtung enthaltenden Ebene und mit dem Mitnehmer Q_1 des Hebelarmes e_1 in einer die Breitenrichtung enthaltenden Ebene liegt. Dabei ist der Schlitten A_1' derart mit dem Schlitten A_1 gekuppelt, daß er bei einer Verschiebung desselben um Y_1 eine Verschiebung in derselben Richtung um $\frac{Y_1}{\cos\gamma}$ erfährt. Zu dem Zweck ist an einem Lagerbock des Schlittens C_1, um eine Achse S drehbar, ein gabelförmiger Hebel r_1 gelagert, dessen beide übereinander liegende Gabelenden je mit einem Schlitz r_2 ausgestattet sind. In den Schlitz des oberen Gabelendes greift ein Mitnehmer r_3 des Schlittens A_1 ein, in den des unteren Gabelendes ein Mitnehmer r_4 eines Schlittens r_5, der auf dem Schlitten A_1' in der Tiefenrichtung einstellbar angeordnet ist und durch eine Klemmschraube r_6 auf diesem Schlitten festgestellt werden kann. Dabei hat die Drehachse S des Hebels r_1 eine solche Lage zum Schlitten C_1, daß der Hebel parallel der Tiefenrichtung ist, wenn der Schlitten A_1 sich in seiner Nullstellung befindet, wenn also der Zeiger g_1 an der Skala g_2 den Wert $Y_1 = 0$ anzeigt. Die jeweils eingestellte, in die Tiefenrichtung fallende Komponente des gegenseitigen Abstandes der beiden Mitnehmer r_3 und r_4 wird durch einen Zeiger r_7 des Schlittens r_5 an einer Skala r_8 des Schlittens A_1' angezeigt. Wird diese Komponente mit U, und die entsprechende Komponente des Abstandes des Mitnehmers r_3 von der Drehachse S mit V bezeichnet, so muß, wenn der Schlitten A_1' die oben angegebene Verschiebung erfahren soll, die Gleichung bestehen (vgl. Fig. 28)

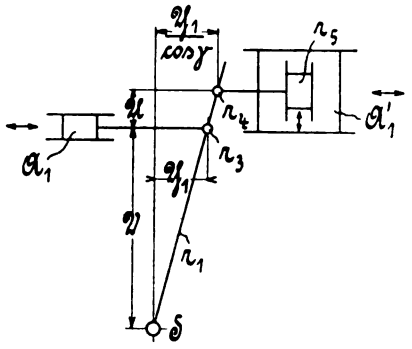


Fig. 28.

$$\frac{U - V}{\frac{Y_1}{\cos\gamma}} = \frac{V}{Y_1}.$$

Daraus folgt für U

$$U = V\frac{1 - \cos\gamma}{\cos\gamma}. \qquad 39)$$

Ist, wie angenommen, V unveränderlich, so ist U nur veränderlich mit dem Winkel γ. Es ist daher, um wiederholte Ausrechnungen zu vermeiden, die Skala r_8 nach Winkeln beziffert. Die Berechnung der Teilung der Skala ist nach Gleichung 39 ohne weiteres möglich. Liegen die Mitnehmer r_3 und r_4 lotrecht übereinander, so befindet sich der Schlitten r_5 in seiner Nullstellung, in der sein Zeiger r_7 an der Skala r_8 den Winkel Null anzeigen muß. Verschiebungen des Schlittens r_5 aus seiner Nullstellung müssen stets so gerichtet sein, daß sie auf eine Vergrößerung des Abstandes des Mitnehmers r_4 von der Drehachse S hinwirken.

Damit die Gleichung 34b erfüllt wird, ist die Kupplung folgendermaßen einzustellen. Der Schlitten j_8 ist in diejenige Lage zu bringen, in der sein Zeiger j_{10} an der Skala j_{11} die Brennweite f anzeigt. Die Arme j_1 und j_2 müssen den Winkel $180 - \beta_2$ miteinander einschließen, so, daß dann der Zeiger j_{14} an der Gradteilung j_{15} den Winkel β_2 anzeigt. Der Schlitten k_1 muß diejenige Stellung einnehmen, in der sein Zeiger k_3 an der Skala k_4 des Schlittens A_1' den im Kopiermaßstab gemessenen Wert

$\frac{b \sin \varepsilon}{\cos \gamma}$ anzeigt. Der Schlitten B_1 ist in seine Nullstellung zu bringen, in der der Doppelhebel d_1, d_2 parallel der Tiefenrichtung ist. Der Schlitten r_5 muß in diejenige Lage gebracht werden, in der sein Zeiger r_7 an der Skala r_8 den Winkel γ anzeigt.

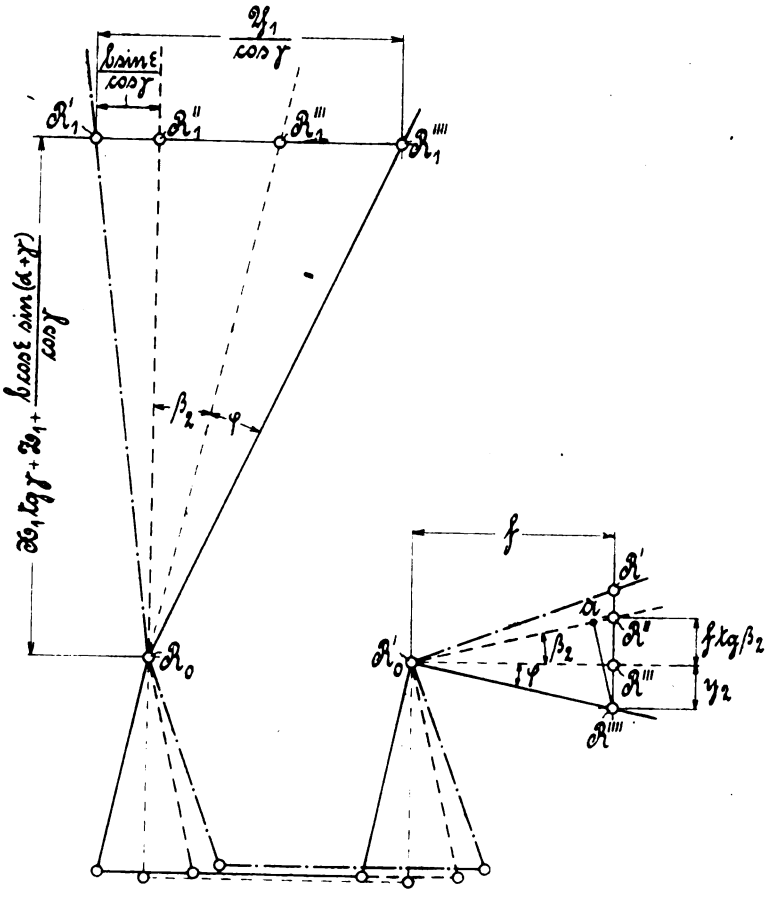


Fig. 29.

Der Hebel l_7 ist so einzustellen, daß sein Zeiger l_9 an der Gradteilung l_{10} den Winkel γ anzeigt. Der Schlitten k_5 ist bei gelöster Klemmschraube l_4 in diejenige Stellung zu bringen, in der sein Zeiger k_7 an der Skala k_8 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $\frac{b \cos \varepsilon \sin(\alpha+\gamma)}{\cos \gamma}$ anzeigt. Die zwangläufige Verbindung des Schlittens B_1 mit dem Mitnehmer R_1 ist durch Anziehen der Klemmschraube l_4 herzustellen. Die Klemmschraube k_6 muß während des Kopierens gelöst bleiben. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit der Ordinate $y_2 = 0$ eingestellt ist, muß sich der Doppelhebel j_1, j_2 in seiner Nullstellung befinden, in der sein Arm j_2 parallel der Tiefenrichtung ist, während sein Arm j_1 um den Winkel β_2 gegen die Tiefenrichtung geneigt ist.

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung der Kupplung die Gleichung 34b richtig erfüllt wird, folgt aus Fig. 29. Darin ist das Hebelsystem $j_1, j_2; j_4; j_5, j_6$ in vier Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten X_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines

Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = 0$. Die durch stark gestrichelte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = b \sin \varepsilon$ und mit der zugehörigen Plattenkoordinate $y_2 = -f \operatorname{tg} \beta_2$. Die durch schwach gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Hebelsystems, die der Einstellung eines Objektpunktes entspricht, zu dem die Plattenkoordinate $y_2 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate Y_1 und der zugehörigen Plattenkoordinate y_2. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von R'''' eine Senkrechte auf $R_0' R''$ fällt:

$$\operatorname{tg}(\beta_2 + \varphi) = \frac{\frac{Y_1}{\cos\gamma} - \frac{b \sin\varepsilon}{\cos\gamma}}{X_1 \operatorname{tg}\gamma + Z_1 + \frac{b \cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma)}{\cos\gamma}} = \frac{\overline{R'''' a}}{\overline{R_0' a}}$$

$$= \frac{\overline{R'''' a}}{\overline{R_0' R''} - \overline{R'' a}} = \frac{(f \operatorname{tg}\beta_2 + y_2)\cos\beta_2}{\frac{f}{\cos\beta_2} - (f \operatorname{tg}\beta_2 + y_2)\sin\beta_2}$$

$$= \frac{f \sin\beta_2 + y_2 \cos\beta_2}{f \cos\beta_2 - y_2 \sin\beta_2}.$$

was zu beweisen war.

In Fig. 27 (Tafel IX) ist der Apparat wie in Fig. 15, 18, 20 und 24 (Tafel V bis VIII) für den Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene eingestellt. Beim Gebrauch müssen außer den Klemmschrauben d_{10}, h_{10} und k_6 sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung stimmt mit der bei der Ausführungsform D angegebenen überein. (Schluß folgt.)

Referate.

Verallgemeinerung der Abbeschen Sinusbedingung (als Bedingung für das Verschwinden der Koma in der unmittelbaren Nachbarschaft der Achse) für Systeme mit nicht gehobener Längenaberration.

Von E. Lihotzky, *Sitzungsber. d. Wiener Akad. IIa, 128, 1. Heft 1919.*

Isoplanatische Korrektion und Proportionalitäts-Bedingung (zur Bedeutung der Abbeschen Sinusbedingung bei sphärsich nicht korrigierten Systemen endlicher Öffnung).

Von F. Staeble, *Sitzungsber. d. Bayer. Akad. S. 163—196. 1919.*

Die Sinusbedingung, deren Bedeutung für die Hebung der Koma und daher für die gute Abbildung eines kleinen Flächenstückes längst bekannt ist, gilt in der Abbeschen Form nur dann, wenn die sphärische Abweichung gehoben ist, und es war daher die Frage, wie man sie sonst auszusprechen hat. Herr Staeble hatte sie 1907 im 27. Bande dieser Zeitschrift für den Fall beantwortet, daß man sich auf das Seidelsche Gebiet (unendlich geringer Neigung gegen die Achse) beschränkt; jetzt ist sie durch zwei voneinander unabhängige Arbeiten erledigt worden.

Herr Lihotzky schlußfolgert so: Es sei $A'B'$ das Gaußische Bild eines unendlich kleinen Linienstückes AB[1]). Strahlen mit der Öffnung u vom Achsenpunkt A mögen nach der Brechung die Achse unter dem Winkel u' in A_L' schneiden. Es werden dann auch von B ausgehende Strahlen mit der Öffnung $2u'$ einander in einem Punkte B_L' schneiden. — Die Forderung der

[1]) Die Zeichnung ist nur für die Bildseite ausgeführt.

Symmetrie kommt nun darauf hinaus, daß alle Punkte B_L' auf einer Nebenachse $P_0'\ B_L'\ B'$ liegen. Die Punkte P_0', A_L', B_L' und die Schnittpunkte T_{P_1}', T_{P_2}' müssen die in der Figur gekennzeichnete Lage haben[1]). Auf $T_{P_1}'\ A_L'$ liegt der tangentiale Schnittpunkt A_t', für den der Helmholtzische Satz gelten muß. Hieraus erhält Herr Lihotzky die Beziehung

$$\text{a)}\quad \Delta_{LS}' = (s' - z')\left(\frac{n}{n'}\frac{1}{\beta}\frac{\sin u}{\sin u'} - 1\right),$$

wo s', z' die Koordinaten von A', P_0' (etwa vom letzten Scheitel aus), Δ_{LS}' die sphärische Abweichung $A'A_L' = -A_L'A'$ ist. „Die Abweichungen müssen für die ganze Öffnung den Längenabweichungen proportional sein." Doch muß außerdem noch dafür gesorgt sein, daß die symmetrische Brennlinie nicht unsymmetrisch abgeschnitten wird. Ist U' der größte Wert von u' und bezeichnet man alle zu U' gehörenden Punkte und Strecken durch einen Zeiger U', so muß $T_{P_1}U'$, $T_{P_2}U'$ die Austrittspupille sein, woraus die Bedingung folgt:

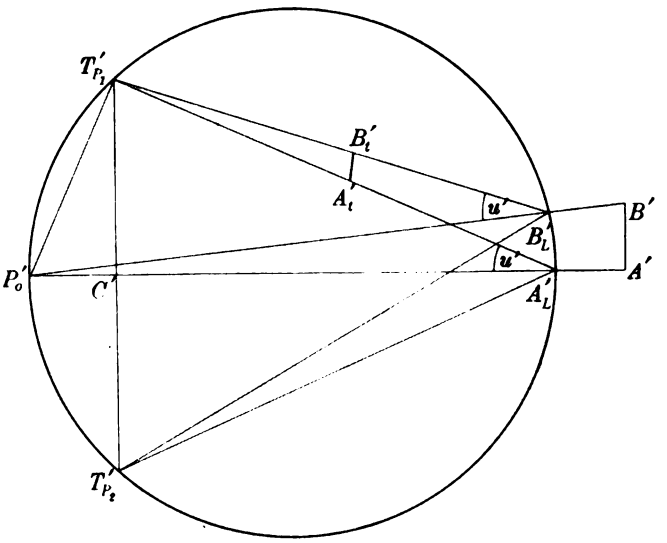
$$\text{b)}\quad P_0'C'U' = (s' - z' + \Delta_{LUS}')\sin^2 U'.$$

Bei Beschränkung auf das Seidelsche Gebiet wird dieser Wert 0, und es muß aus der Gleichung a) bestimmt werden

$$s' - z' = \operatorname{Lim}_{u=0} \frac{\Delta_{LS}'}{\frac{n}{n'}\frac{1}{\beta}\frac{\sin u}{\sin u'} - 1}.$$

Dies Ergebnis stimmt mit dem des Staebleschen Aufsatzes von 1907 überein, im Seidelschen Gebiet kann man die Koma durch passende Wahl der Blende heben.

In seiner neuen Arbeit faßt Herr Staeble die Aufgabe etwas allgemeiner. Hebung der Koma verlangt, daß die Brennfläche beim Übergang von der Achse zu einem unendlichen nahen Punkte ihre Form nicht ändert, sondern sich um einen Punkt der Achse dreht. Herr Staeble nimmt an, daß auch der Gegenstand nicht abweichungsfrei sei, sondern nur diese Bedingung („isoplanatische Korrektion") erfülle, und fragt, wann sie auch im Bilde erfüllt sei.



Auf der Bildseite ist der Drehpunkt der Lihotzkysche Punkt P_0', für die Dingseite wäre eine gleiche Zeichnung zu machen.

Herr Staeble untersucht nun die Bedingungsgleichung dafür, daß ein tangentialer Strahl, der die Brennfläche eines Achsenpunktes berührt, bei einer solchen Drehung in einen windschiefen Strahl übergeht, der Tangente einer gedrehten Fläche ist, wozu er sich der Helmholtzischen Gleichung bedient. Er kommt zu dem Ergebnis, daß in der Lihotzkyschen Bezeichnung $P_0'\ T_P'$ (das Pupillenlot) zu dem entsprechenden Werte auf der Dingseite ein festes Verhältnis, das der Vergrößerung in den Pupillen P_0, P_0' haben muß.

$$\left(\frac{\mathfrak{A}'\sin u'}{\mathfrak{A}\sin u} = \text{const.},\ \text{wo}\ \mathfrak{A}' = P_0'A_L',\ \mathfrak{A} = P_0A_L\right).$$

Eine andere Form, die er dieser Bedingung gibt, ist folgende:

$$\frac{\mathfrak{A}'}{f_s'} = \frac{\Delta_{LS}'}{\frac{s\sin u}{\sin u'}\left(1 + \frac{\Delta_{LS}}{\mathfrak{A}}\right) - f_s'}.$$

[1]) $T_{P_1}'\ T_{P_2}'$ steht bis auf Größen höherer Ordnung senkrecht auf der Achse.

Hier ist Δ_{LS} die Abweichung auf der Dingseite

$$\mathfrak{A}' = s' - z' = P_o' A', \quad \mathfrak{A} = s - z = P_o A; \quad f_s' = \frac{s_1' \cdot s_2' \cdot \ldots \cdot s_{p-1}'}{s_2 s_3 \ldots s_p} s_p',$$

wegen $f_s' = \frac{n'}{n} \beta s$ entsteht für $\Delta_{LS} = 0$ die Lihotzkysche Form.

Für unendlich geringe Öffnung erhält man stets einander entsprechende Grenzwerte $\mathfrak{A}, \mathfrak{A}'$; (falls $\Delta_{LS} = 0$, ist $\mathfrak{A}$ unbestimmt, nur $\mathfrak{A}'$ bestimmt, und das Ergebnis ist wieder das der Arbeit von 1907); daß die Werte fest sind, ist die Bedingung für Hebung der Koma bei endlicher Öffnung.

Herr Staeble gibt seiner Bedingung noch mehrere andere Formen, behandelt einige besondere Fälle und weist darauf hin, daß die Hebung der Farbenabweichung der Vergrößerung auf eine ähnliche Gleichung führt.

Wegen ihrer grundsätzlichen Wichtigkeit sei noch eine Stelle der Staebleschen Arbeit wörtlich angeführt:

„Denkt man sich einesteils $\mathfrak{A}$ als beliebige Funktion von u und andernteils $\mathfrak{A}'$ als beliebige Funktion von u' gegeben, so ist durch diese Funktion die Form der objektseitigen und bildseitigen Brennfläche vollständig bestimmt. Greift man im Bildraum einen Strahl von der Neigung u' heraus, so ist dem hiezu gehörenden Pupillenlot vermöge der Proportionalitäts-Bedingung eine bestimmte Lotlänge im Objektraum und dadurch eine bestimmte Neigung u im Objektraum zugeordnet. Da mit dem Strahlenkegel des Objektraumes zugleich auch die Energiewerte der objektseitigen Strahlung gegeben zu denken sind, so fordert die Proportionalitätsbedingung einen bestimmten Zusammenhang zwischen der Strahlendichte auf den Wellenflächen des Objektraumes mit der Strahlendichte auf den Wellenflächen des Bildraumes und ist somit eine rein energetische Bedingung. Die Proportionalitäts-Bedingung macht also über die Form der Wellen- und Brennflächen keinerlei Vorschrift." (S. 183—184.)

H. Boegehold.

Über die durch ein Drehkeilpaar erzeugte Ablenkung und über eine als Kennzeichen für die Beibehaltung des Hauptschnittes dienende Sinusbedingung.

Von H. Erfle. *Zeitschr. f. Physik* **1**. *S. 57. 1920.*

Ein Drehkeilpaar entsteht, wenn man ein Prisma durch Teilung des brechenden Winkels in zwei Hälften zerlegt. Werden diese beiden Prismen in ihre ursprüngliche Stellung zueinander gelegt, so haben sie miteinander die größte Ablenkung. Dreht man sie um eine Achse, die zu der winkelhalbierenden Ebene sekrecht steht, so ist der brechende Winkels des Paares kleiner, dreht man die beiden Prismen um je 90°, so ist der gesamtbrechende Winkel und die Ablenkung gleich Null, das Paar stellt eine planparallele Platte dar.

Der Verf. gibt zunächst eine geschichtliche Entwicklung über die Anwendung eines solchen Drehkeilpaares, welches zuerst von A. Rocher und dann von S. F. W. Herschel angegeben wurde. E. Abbe hat es bei seinem Totalrefraktometer als Kompensator der Farbenzerstreuung benutzt, ebenso P. Krüss als Prismaersatz mit veränderlicher Dispersion in einem Spektroskop. Desgleichen wird es in Entfernungsmessern angewandt.

Der Verf. bezeichnet nun die vielfach gemachte Annahme von der Veränderlichkeit der Hauptschnittlage als nicht richtig. Er berechnet zunächst die Ablenkung, welche durch ein solches Doppelprisma einem Strahle erteilt wird, welcher in der Richtung der Drehachse darauf einfällt und zeigt, daß für zwei Prismen mit je einem Brechungswinkel von 10° und einem Brechungsverhältnis $u = 1{,}5$ ein Seitenfehler also eine Neuänderung der Hauptschnittlage eintritt, der bei den Drehungen 0 und 90° gleich Null ist und bei 35,2645° sein Maximum hat. Um diesen Seitenfehler zu vermindern, konstruierte der Verf. ein neues Doppelkeilpaar, indem er dem zweiten Prisma eine andere Stellung gibt, derart, daß die Drehachse nicht mehr mit der Senkrechten zu den Innenflächen zusammenfällt, sondern mit dem Einfallslot der Eintrittsfläche des zweiten Prismas dauernd einen bestimmten Winkel bildet. Ist eine gewisse Bedingung zwischen dem Sinus der Ablenkung des ersten Prismas und der Gesamtablenkung des Prismenpaares erfüllt für irgend einen Drehungswinkel, so verschwindet für diesen der Seitenfehler.

H. Krüss.

Über den Unterschied zwischen den Okularen von Huyghens und denen von Ramsden und über die Abhängigkeit der Brennweite solcher Okulare von der Wellenlänge.

Von H. Erfle. *Centralztg. f. Opt. u. Mech. S. 79. 1920.*

Der Verf. wendet sich gegen eine Darstellung in dem von O. Lummer bearbeiteten Bande Optik des Müller-Pouilletschen Lehrbuches der Physik, nach welcher beim Ramsdenschen Okular mit reellem Bildpunkt und Augenpunkt Achromasie der Brennweite vorhanden sein soll. Er beweist, daß diese drei Bedingungen nicht gleichzeitig erfüllt werden können, daß vielmehr der Winkel zwischen dem austretenden Hauptstrahl für Blau größer ist als für Rot. Sollen zwei verschiedenfarbige Hauptstrahlen parallel zueinander aus dem Okular austreten, so muß der Hauptstrahlenkreuzungspunkt in die dünne Augenlinse fallen, so daß der Augenort nicht zugänglich ist. Dies wird unter Annahme bestimmter Abmessungen für die beiden Linsen des Okulars und ihres Abstandes voneinander, sowie für die benutzten Glasarten auch zahlenmäßig bewiesen.

Huyghens hat für das von ihm angegebene Okular gefunden, daß die sphärische Abweichung eines von der Augenseite her einfallenden achsenparallelen Strahlenbündels möglichst klein wird. Dieses Okular ist auch achromatisch in bezug auf die Brennweite. Allerdings ist die Brennweite nicht für alle Farben die gleiche, aber der Verf. weist an einem Zahlenbeispiel nach, daß das sekundäre Spektrum bei einem Huyghensschen Okular von einer so kleinen Größenordnung ist, daß es praktisch vernachlässigt werden kann.

Was das Kellnersche Okular mit achromatisierter Augenlinse betrifft, so zeigt der Verf., daß Achromasie in bezug auf die Vergrößerung hier möglich ist. *H. Krüss.*

Die Entwicklung des Sehrohres für Tauchboote.

Von H. Erfle, *Die Naturwissenschaften. S. 805. 1919.*

Der Verfasser gibt eine gemeinverständliche Schilderung der verschiedenen Konstruktionen des Sehrohres, dessen Zweck ist, die Lichtstrahlen von einer im allgemeinen höher gelegenen Stelle nach einer anderen Stelle zu leiten bei mindestens zweimaliger Knickung des Strahlenganges. Diese wird stets durch zwei einander parallele Spiegel, einer am Eintritt, der andere am Austritt des Rohres erreicht, oder an deren Stelle durch zwei Spiegelprismen. Das Gesichtsfeld eines solchen einfachen Sehrohres ist sehr klein. Es wird vergrößert, wenn zwischen den Spiegeln ein aus Objektiv und Okular von gleicher Brennweite bestehendes astronomisches Fernrohr zwischen den beiden Spiegeln angebracht wird. Das Gesichtsfeld ist bei der gleichen Vergrößerung (= 1) hier mindestens doppelt so groß wie beim Sehrohr ohne Linsen, weil hier das Auge gewissermaßen selbst in die Eintrittsöffnung verlegt wird. Das Bild erscheint aber umgekehrt und muß durch ein Umkehrprisma oder durch ein umkehrendes Linsensystem aufgerichtet werden. Das Sehrohr kann selbstverständlich auch mit stärkerer Vergrößerung versehen werden unter entsprechender Verkleinerung des Gesichtsfeldes.

Man kann mit dem Sehrohr den ganzen Horizont absuchen, wenn man den Eintrittsspiegel um die senkrechte Achse um 360° dreht. Dann steht aber das Bild bei Drehung um 180° auf dem Kopf, bei Zwischendrehungen in geneigter Stellung. Um das zu vermeiden, wird bei den Rundblickfernrohren ein Prisma mit einer oder einer ungeraden Anzahl von Reflexionen, dessen Hauptschnitt in allen Prismenstellungen der senkrechten Sehrohrachse parallel ist, derart mit dem Eintrittsspiegel durch ein Zahnrädergetriebe gekuppelt, daß es sich halb so schnell dreht wie der Eintrittsspiegel bzw. das Eintrittsprisma.

Weiter werden noch Sehrohre beschrieben, bei denen das Bild auf einer Mattscheibe aufgefangen wird, sowie Sehrohre, durch welche vom Tauchboote aus Erscheinungen oben in der Luft (Flugzeuge) beobachtet werden können. *H. Krüss.*

Spiegelablesung für große Ausschläge.

Von W. S. Gripenberg. *Physikal. Zeitschr. 21. S. 50. 1920.*

Um den theoretischen Höchstwert des Ausschlages von 180° eines Instrumentes mit Spiegelablesung auszunutzen, wird vorgeschlagen, den (zweckmäßig beiderseits versilberten) Spiegel ringsum mit durchsichtigen Wänden zu umgeben. Die beim Übergang zu einer angrenzenden

Platte auftretende Verschiebung des Skalenbildes läßt sich dadurch ermitteln, daß man bei einer bestimmten Stellung beide Bilder gleichzeitig sieht, Für die meisten praktischen Fälle wird die hierdurch bedingte Korrektion gleich Null, wenn man die Glaswände möglichst dünn macht (etwa mikroskopische Deckgläschen von 0,16 mm Dicke verwendet). Die Skala soll kreisförmig gebogen, quadratisch oder um den Spiegel als Mittelpunkt drehbar angeordnet werden. *Berndt.*

Bücherbesprechungen.

K. Fajans, Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen (Sammlung Vieweg: Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik, Heft 45). VIII, 112 S. m. 7 Abbild. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1919. 4 M.

An guten Lehrbüchern der Radioaktivität herrscht eigentlich kein Mangel, indessen beschränken sich diese fast durchweg auf eine Schilderung der Tatsachen und Gesetzmäßigkeiten, je nachdem unter Bevorzugung der physikalischen oder chemischen Seite. Besonders werden die Zerfallstheorie und die Strahlung sowie die verschiedenen Atommodelle behandelt, von denen namentlich das Rutherfordsche sich als sehr nutzbringende Arbeitshypothese erwiesen hat. Ebenso groß aber wie die Umwälzung unserer Vorstellungen über das „unteilbare" Atom ist die über das chemische Element, welche durch die Aufstellung des Begriffes der Isotopie und seine experimentelle Bestätigung beim Blei veranlaßt wurde. Die Schilderung dieser Entwicklung konnte keinerem Berufeneren anvertraut werden, verdanken wir doch gerade dem Verf. die bedeutendsten Fortschritte auf diesem Gebiete und geht auch auf ihn (neben Soddy) überhaupt die Lehre von den Isotopen zurück. Sie hat dann auch bei den nicht aktiven Elementen mit Hilfe der Analyse durch positive Strahlen eine glänzende Bestätigung erfahren, zunächst durch die Spaltung des Neons und zuletzt durch die Zerlegung des Stickstoffs, von welchem es Rutherford gelang, Wasserstoffkerne durch das Bombardement der Alphastrahlen abzutrennen (diese Arbeit ist noch in einem Anhange ausführlich besprochen).

Die kleine, leichtfließend und klar geschriebene Schilderung ist sehr geeignet, einen Überblick über den heutigen Stand der Auffassung des chemischen Elementes zu geben, das ja einen der Grundsteine unserer naturwissenschaftlichen Weltanschauung bildet, und dürfte deshalb auch für die Leser dieser Zeitschrift von Interesse sein.

Berndt.

H. Schulz, Die Polarisationsapparate und ihre Verwendung, unter Mitarbeit von A. Gleichen. VIII, 122 S. m. 80 Textabbildungen. Stuttgart, F. Enke 1919.

Das Buch ist als eine Einführung in die Polarimetrie gedacht, die dem Benutzer der Polarisationsapparate, also vor allem dem Chemiker, dem Arzt und dem Apotheker, die optischen Vorgänge in denselben erläutern (und zwar unter möglichster Vermeidung mathematischer Zeichen und Begriffe), weiterhin ihn aber auch in der praktischen Handhabung unterweisen soll; dazu gehört naturgemäß auch die Wiedergabe der zur Auswertung der Beobachtungen notwendigen Zahlen und Formeln. Vorausgeschickt ist noch ein Abschnitt über die Grundbegriffe der geometrischen Optik. Der eigentliche Hauptteil des Buches gliedert sich in die folgenden Kapitel: Erzeugung polarisierten Lichtes; Gesetze des Drehungsvermögens; Polarisationsapparate (ältere und Halbschattenapparate, Saccharimeter); Zuckerskala; äußerer Aufbau der Apparate; Lampen und Röhren; Drehungsbestimmung; praktische Verwendung der Drehungsbestimmungen. In einem Anhange wird dann noch eine spezielle Anleitung zur Bestimmung der Polarisation gegeben. Die anschaulich klare und geschickte Darstellung wird durch eine Reihe sehr instruktiver Figuren ergänzt. *Berndt.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

APR 27 1921
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
V. v. Lang in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

3. Heft: März.

Inhalt:

Dr. W. Sander, Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung (Schluß von S. 60) S. 65. — Dr. J. Rheden, Neue Form einer Kupplung für Fernrohr-Triebwerke mit unmittelbarem elektromotorischen Antrieb S. 86. — Dr. R. Dieterle, Ein hochempfindliches astatisches Torsionsmagnetometer S. 89.

Referate: Das Grundgesetz für die treue photographische Wiedergabe von Kontrasten S. 92. — Über eine neue, selbsttätige Temperaturregelung für elektrische Öfen S. 92. — Über die Abhängigkeit des Temperaturkoëffizienten permanenter Magnete von deren Gestalt S. 93.

Erhöhung der Prüfungsgebühren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt S. 96.

an 7/7/21
Tetter.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Das beständig wiederkehrende Mißgeschick

hat es vielleicht vermocht, Sie allmählich in einen Zustand bedenklicher Hoffnungslosigkeit zu versetzen. Auch Sie können noch heute den Kampf um die Herrschaft über den täglichen Ärger aufnehmen. Und sofern Sie es verstehen, sich mit den geeigneten Mitstreitern zu versehen, werden Sie auch siegen.

Obige Kasse wird Ihnen ein willkommener Bundesgenosse sein in der Schlichtung von Meinungsverschiedenheiten, Erhaltung von Kunden und in der Sicherung Ihrer Einnahmen.

Lassen Sie sich unsere Lieferungsbedingungen noch heute mitteilen.

Kassenfabrik „Komet", Schkeuditz 514
Bez. Halle a. S.

Präzisionsoptik
Objektive und Okularlinsen
Prismen, Dachprismen, Sextantspiegel, Planparallelplatten. Versilberung optischer Gläser 96,1% Refl. lt. Prüfung d. Reichsanstalt, Oberflächenspiegel, Fadenkreuze, Mikrometer, Netzteilungen
J. D. Möller, Wedel b. Hamburg
Gegründet 1864

LAACK
Feinoptik!
Alle Sorten
Linsen und Objektive
für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen
Julius LAACK Söhne,
RATHENOW a. H.

Patentanwalt A. Kuhn, Dipl.-Ing. BERLIN, S.W. 61, Gitschinerstr. 106

Jahrgang 1900, 1911/1912
dieser Zeitschrift
zu kaufen gesucht.

Angebote unter **Ikde 6127** durch die Expedition dieses Blattes. [6127]

Komplette Einrichtungen mit allem Zubehör
für
Glasbläsereien, -teilereien, -schleifereien, für Instrumentenfabriken u. Laboratorien
liefern
GOTTHOLD KÖCHERT & SÖHNE, ILMENAU 4, Thür.
[6108] **Spezialfabrik**
für Maschinen und Apparate für Glasbearbeitung

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **März 1921.** Drittes Heft.

Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph und neue Vorschläge für seine weitere Ausgestaltung.

Von

Dr. Ing. **Willy Sander.**

(Mitteilung aus der optischen Anstalt von Carl Zeiss, Jena.)

(Schluß von Seite 60.)

b) Ausführungsform *K* (Lösung 2).

(D. R. P. 313261 vom 9. Juli 1918.)

Die Ausführungsform *K* des Stereoautographen (vgl. Fig. 30, Tafel X) unterscheidet sich von der durch Fig. 27 (Tafel IX) dargestellten Ausführungsform *J* nur in bezug auf die Kupplung des Schlittens A_1 mit dem Schlitten *D*. Damit statt der Gleichung 34b die Gleichung 34c selbsttätig aufrechterhalten wird, muß die Kupplung der Fig. 27 die folgenden Änderungen erfahren. Der Schlitten A_1' ist derart mit dem Schlitten A_1 zu kuppeln, daß er bei einer Verschiebung desselben um Y_1 eine Verschiebung um $Y_1 \cos\gamma$ erfährt. Dabei muß seine Lage gegenüber dem Schlitten A_1 für den Fall, daß die Schlitten k_1, k_5 und A_1 sich in ihren Nullstellungen befinden, die gleiche sein, wie für Fig. 27 (Tafel IX) angegeben ist. Zu dem Zweck ist nur eine andere Einstellung des Schlittens r_5 erforderlich. Wird wiederum die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des gegenseitigen Abstandes der beiden Mitnehmer r_3 und r_4 mit *U*, und die entsprechende Komponente des Abstandes des Mitnehmers r_3 von der Drehachse *S* mit *V* bezeichnet, so muß, wenn der Schlitten A_1' die oben angegebene Verschiebung erfahren soll, die Gleichung bestehen (vgl. Fig. 31)

$$\frac{V-U}{Y_1\cos\gamma} = \frac{V}{Y_1}.$$

Daraus folgt für *U*

$$U = V(1-\cos\gamma). \qquad 40)$$

Da *V* wiederum unveränderlich angenommen ist, so ist *U* nur veränderlich mit dem Winkel γ, deshalb kann die Skala r_8 wiederum nach Winkeln beziffert werden. Die Berechnung ihrer Teilung ist nach Gleichung 40 ohne weiteres möglich. Liegen die Mitnehmer r_3 und r_4 lotrecht übereinander, so befindet sich der Schlitten r_5 in seiner Nullstellung, in der sein Zeiger r_7 an der Skala r_8 den Winkel Null anzeigen muß. Verschiebungen des Schlittens r_5 aus seiner Nullstellung müssen stets so gerichtet sein, daß sie auf eine Verkleinerung des Abstandes des Mitnehmers r_4 von der Drehachse *S* hinwirken.

Tafel X

Ausführungsform K.

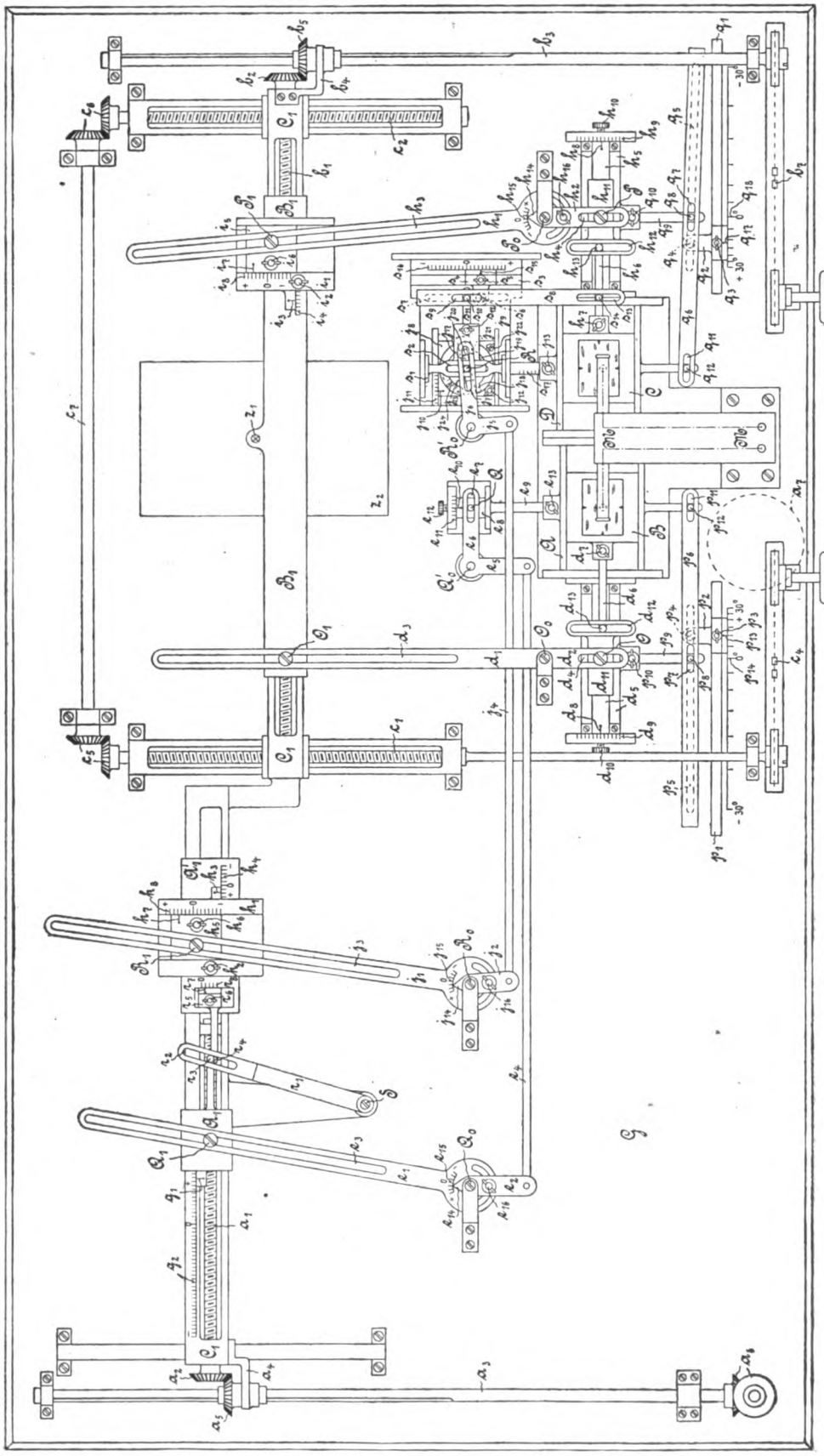


Fig. 30.

Da in der Gleichung 34c im Nenner der rechten Seite ein von X_1 abhängiges Glied nicht vorhanden ist, so fällt die Kupplung des Mitnehmers R_1 mit dem Schlitten B_1 weg. Dafür ist aber im Nenner der linken Seite der Gleichung das von x_2 abhängige Glied $x_2 \operatorname{tg} \gamma$ vorhanden, so daß eine Kupplung des Mitnehmers R mit dem Schlitten C vorgesehen werden muß. Diese Kupplung muß so beschaffen sein, daß beim Einstellen des Schlittens C in der Breitenrichtung um x_2 der Mitnehmer R in einer gegen die Breitenrichtung um den Winkel β_2 geneigten Richtung (d. i. diejenige Richtung, die der Arm j_6 des Winkelhebels j_5, j_6 einnimmt, wenn der Arm j_1 des Doppelhebels j_1, j_2 parallel der Tiefenrichtung ist) eine Einstellung um $x_2 \operatorname{tg} \gamma$ erfährt, und zwar so, daß sein Abstand von der Drehachse R_0' bei positivem Wert von $x_2 \operatorname{tg} \gamma$ kleiner ist als für $x_2 \operatorname{tg} \gamma = 0$. Zu dem Zweck ist dieser Mitnehmer nicht mehr unmittelbar auf dem Schlitten j_8 anzuordnen, sondern auf einem Schlitten j_{17}, der längs einer Geradführung j_{18} eines Drehschlittens j_{19} verschieblich angeordnet ist. In der Nullstellung des Schlittens j_{17} liegt der Mitnehmer R in der Achse dieses Drehschlittens. In dieser Stellung des Schlittens j_{17} zeigt sein Zeiger j_{20} auf einen Gegenzeiger j_{21} der Geradführung j_{18}. Der Drehschlitten j_{19} ist auf dem Schlitten j_8 drehbar gelagert und kann durch eine Klemmschraube j_{22} auf diesem Schlitten festgestellt werden. Ein Zeiger j_{23} des Drehschlittens j_{19} zeigt dabei an einer entgegen dem Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung j_{24} des Schlittens j_8 denjenigen Winkel an, um den der Drehschlitten aus seiner Nullstellung verdreht ist. Diese Verdrehung muß, damit die Verschiebung des Mitnehmers R, wie verlangt, in der um den Winkel β_2 gegen die Breitenrichtung geneigten Richtung vor sich geht, den Wert β_2 annehmen. Die Nullstellung ist dadurch bestimmt, daß für $\beta_2 = 0$ die Geradführung j_{18} parallel der Breitenrichtung sein muß. Auf dem Schieber j_9 ist ein Schlitten s_1 in der Breitenrichtung verschieblich angeordnet, der einen der Tiefenrichtung parallelen Schlitz s_2 enthält, in den der Mitnehmer R eingreift. Dieser Schlitten s_1 ist folgendermaßen mit dem Schlitten C gekuppelt. In einer der Tiefenrichtung parallelen Führungsnut s_3 des Schiebers j_9 ist ein Schlitten s_4 einstellbar angeordnet, der durch eine Klemmschraube s_5 auf dem Schieber j_9 festgestellt werden kann. Der Schlitten s_4 trägt einen Drehbolzen s_6, der durch einen Schlitz s_7 des unteren Flansches eines zwei übereinander liegende Flanschen enthaltenden Hebels s_8 hindurchgreift, wobei auf diesem unteren Flansch ein in der Schlitzrichtung einstellbarer Schlitten angeordnet zu denken ist, der mit einer Bohrung ausgestattet ist, durch die der Drehbolzen s_6 ebenfalls, und zwar mit Passung, hindurchgreift, und der auf dem unteren Flansch feststellbar ist. In dem oberen Flansch sind zwei Schlitze angeordnet. In den einen Schlitz s_9 greift ein Mitnehmer s_{10} eines Schiebers s_{11} ein, der einen Teil des Schlittens s_1 bildet. Dieser Schieber ist für Justierzwecke gegenüber dem Schlitten s_1 in der Breitenrichtung einstellbar angeordnet und kann durch eine Klemmschraube s_{12} auf dem Schlitten s_1 festgestellt werden. In den anderen Schlitz s_{13} greift ein Mitnehmer s_{14} des zu dem Schlitten C gehörenden Schiebers h_6 ein. Durch einen Zeiger s_{15} des Schlittens s_4 wird an einer Skala s_{16} des Schiebers j_9 die jeweils eingestellte, in die Tiefenrichtung fallende Komponente

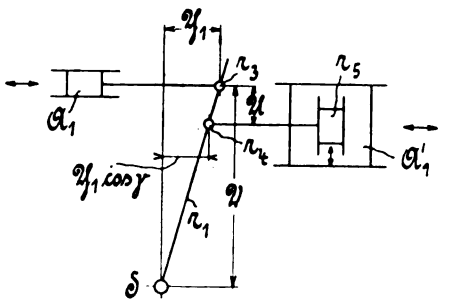


Fig. 31.

des Abstandes des Drehbolzens s_6 von dem Mitnehmer s_{10} angezeigt, und die Kante des Schlittens D zeigt an einer Skala s_{17} des Schiebers j_9 die jeweils eingestellte, in die Tiefenrichtung fallende Komponente des gegenseitigen Abstandes der beiden Mitnehmer s_{10} und s_{14} an. Wird die erstere Komponente mit J und die letztere mit K bezeichnet, so muß, wenn der Mitnehmer R beim Verschieben des Schlittens C um x_2 in der gegen die Breitenrichtung um den Winkel β_2 geneigten Richtung eine Verschiebung um $x_2 \operatorname{tg} \gamma$, also in der Breitenrichtung eine Verschiebung um

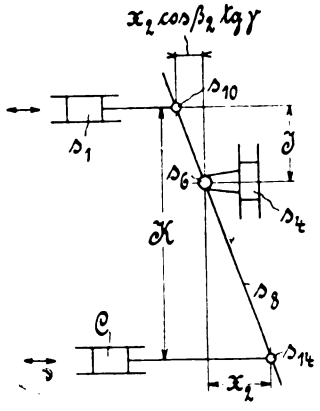


Fig. 32.

$$x_2 \cos\beta_2 \operatorname{tg}\gamma$$

erfahren soll, die Gleichung bestehen (vgl. Fig. 32)

$$\frac{K-J}{x_2} = \frac{J}{x_2 \cos\beta_2 \operatorname{tg}\gamma}.$$

Daraus folgt für J

$$J = K \frac{\cos\beta_2 \operatorname{tg}\gamma}{1+\cos\beta_2 \operatorname{tg}\gamma}. \qquad 41)$$

Nach dieser Gleichung läßt sich die jeweils einzustellende Komponente J ohne weiteres berechnen. Liegt der Drehbolzen s_6 lotrecht unter dem Mitnehmer s_{10}, so befindet sich der Schlitten s_4 in seiner Nullstellung, in der sein Zeiger s_{15} an der Skala s_{16} den Wert Null anzeigen muß. Eine Stellung des Drehbolzens zwischen den beiden Mitnehmern s_{10} und s_{14} entspricht einem positiven Winkel γ.

Damit die Gleichung 34c erfüllt wird, ist die Kupplung folgendermaßen einzustellen. Die Arme j_1 und j_2 müssen den Winkel $180 - \beta_2$ miteinander einschließen, so daß dann der Zeiger j_{14} an der Gradteilung j_{15} den Winkel β_2 anzeigt. Der Schlitten k_1 muß diejenige Stellung einnehmen, in der sein Zeiger k_3 an der Skala k_4 des Schlittens A_1' den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b \cos\gamma \sin\varepsilon$ anzeigt. Der Schlitten k_5 ist in diejenige Stellung zu bringen, in der sein Zeiger k_7 an der Skala k_8 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $b \sin\alpha \cos\varepsilon$ anzeigt. Der Schlitten r_5 ist so einzustellen, daß sein Zeiger r_7 an der Skala r_8 den Winkel γ anzeigt. Der Schlitten j_8 muß diejenige Lage einnehmen, in der sein Zeiger j_{10} an der Skala j_{11} die Brennweite f anzeigt. Der Schlitten C muß seine Nullstellung einnehmen, in der der kurze Arm h_2 des Doppelhebels h_1, h_2 parallel der Tiefenrichtung ist. Der Drehschlitten j_{19} ist so einzustellen, daß sein Zeiger j_{23} an der Gradteilung j_{24} den Winkel β_2 anzeigt. Der Schlitten j_{17} ist in diejenige Lage zu bringen, in der sein Zeiger j_{20} auf den Gegenzeiger j_{21} der Geradführung j_{18} hinweist. Der Schlitten s_4 ist so einzustellen, daß sein Zeiger s_{15} an der Skala s_{16} den aus der Gleichung 41 sich ergebenden Wert J anzeigt. Wenn im Stereokomparator ein Bildpunkt mit den Koordinaten $x_2 = 0$ und $y_2 = 0$ eingestellt ist, befindet sich der Doppelhebel j_1, j_2 in seiner Nullstellung, in der sein Arm j_2 parallel der Tiefenrichtung ist, während sein Arm j_1 um den Winkel β_2 gegen die Tiefenrichtung geneigt ist.

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung der Kupplung die Gleichung 34c richtig erfüllt wird, folgt aus Fig. 33. Darin ist das Hebelsystem j_1, j_2; j_4; j_5, j_6 in fünf Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit der von Null abweichenden Koordinate Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = 0$ und mit der zugehörigen

Plattenkoordinate $x_2 = 0$. Die durch stark gestrichelte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $Y_1 = b \sin \varepsilon$ und mit den zugehörenden Plattenkoordinaten $x_2 = 0$ und $y_2 = -f \operatorname{tg} \beta_2$. Die durch schwach gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Hebelsystems, die der Einstellung eines Objektpunktes entspricht, zu dem die Plattenkoordinaten $x_2 = 0$ und $y_2 = 0$ gehören. Die durch schwach ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden

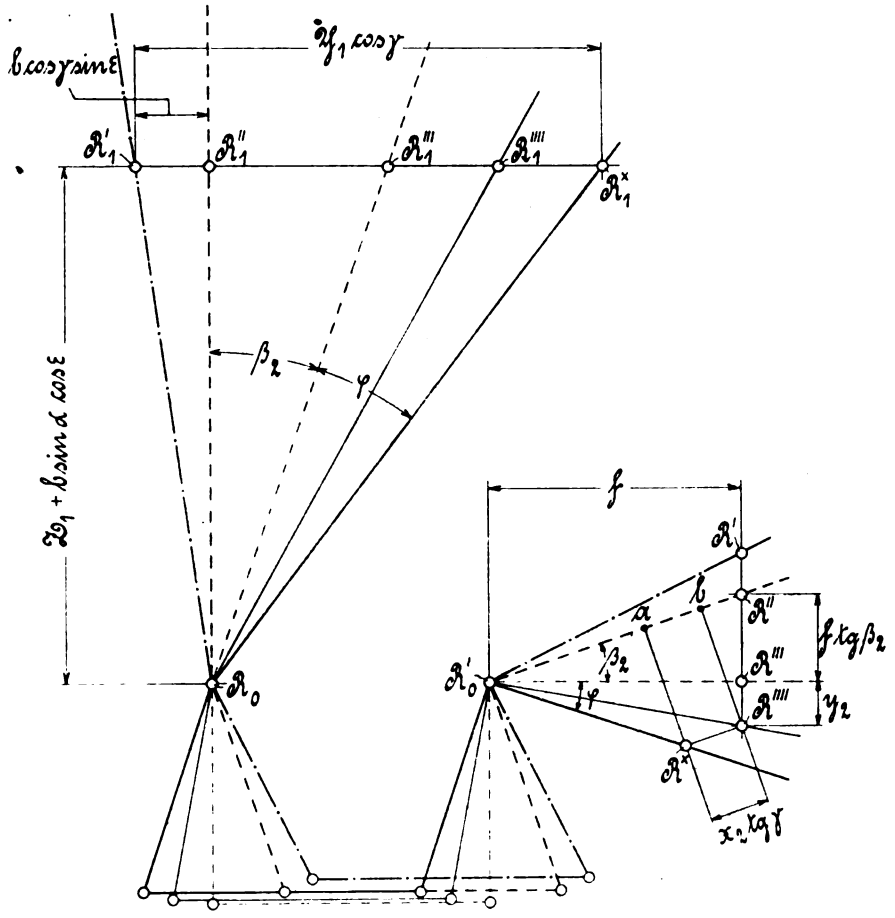


Fig. 33.

Koordinate Y_1 und mit den zugehörenden Plattenkoordinaten $x_2 = 0$ und y_2. Die durch stark ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit den von Null abweichenden Koordinaten X_1 und Y_1 und mit den zugehörenden Plattenkoordinaten x_2 und y_2. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt aus der Figur, wenn man noch von $R^{\times}$ und R'''' Senkrechte auf $R_0' R''$ fällt, und wenn man $R^{\times}$ mit R'''' verbindet, wobei, wie erforderlich, $R^{\times} R''''$ parallel $R_0' R''$ und gleich $x_2 \operatorname{tg} \gamma$ ist:

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{Y_1 \cos\gamma - b\cos\gamma\sin\varepsilon}{Z_1 + b\sin\alpha\cos\varepsilon} = \frac{\overline{R^{\times}a}}{\overline{R_0'a}}$$

$$= \frac{\overline{R'''b}}{\overline{R_0'R'} - \overline{R''b} - \overline{ab}} = \frac{\overline{R'''b}}{\overline{R_0'R'} - \overline{R''b} - \overline{R^{\times}R'''}}$$

$$= \frac{f\operatorname{tg}\beta_2 - y_2)\cos\beta_2}{\frac{f}{\cos\beta_2} - f\operatorname{tg}\beta_2 - y_2\sin\beta_2 - x_2\operatorname{tg}\gamma}$$

$$= \frac{f\sin\beta_2 - y_2\cos\beta_2}{f\cos\beta_2 - y_2\sin\beta_2 - x_2\operatorname{tg}\gamma}.$$

was zu beweisen war.

In Fig. 30 (Tafel X) ist der Apparat wie in Fig. 15, 18, 20, 24 und 27 (Tafel V bis IX) für den Schnittpunkt der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene eingestellt. Beim Gebrauch müssen außer den Klemmschrauben d_{10} und h_{10} sämtliche Klemmschrauben angezogen sein. Die Handhabung stimmt mit der bei der Ausführungsform D angegebenen überein.

C. Lösung von Dr. v. Gruber mit Handantrieb des Vertikalparallaxenschlittens D[1]).

(D. R. P. 301269 vom 24. Juni 1916.)

a) Abbildung eines Objektes auf eine gegen die Lotrechte geneigte Bildplatte.

Bei der Abbildung eines Objektes auf eine gegen die Lotrechte um den Winkel β geneigte Bildplatte B (siehe Fig. 34) schließt die Objektivachse OM mit der durch den optischen Mittelpunkt O des Objektivs bestimmten Horizontalebene E_0 den Neigungs- oder Kippungswinkel β ein. Es sei die für die Ableitung des Folgenden unwesentliche Annahme gemacht, daß die Bildplatte B vor dem Objektiv angeordnet ist. Die Brennweite des Objektivs sei mit f bezeichnet. Die Horizontalebene E_0 schneidet die Bildebene im wahren Horizont NN'. Im Abstand Y von E_0 ist eine weitere Horizontalebene E gelegt. O' ist die Projektion von O auf E, wobei $\overline{OO'} = Y$. NS ist die Hauptvertikale der Bildebene. Durch O werde eine Parallele zur Hauptvertikalen NS gelegt, die die Horizontalebene E in O'' schneidet. Dann ist $\overline{OO''} = Y'$, wobei die Gleichung besteht

$$Y' = \frac{Y}{\cos\beta} \qquad 42)$$

Läßt man eine Ebene um OO'' als Achse sich drehen, so schneidet sie auf der Bildebene ein System zur Hauptvertikalen NS paralleler Geraden aus, in der Horizontalebene E dagegen ein Strahlenbüschel, dessen Strahlen diesen parallelen Geraden zugeordnet sind. Entsprechende Strahlen und Parallelen treffen sich in der Schnittlinie der beiden Ebenen B und E. Der Ursprung O'' des Strahlenbüschels hat von der Horizontalprojektion O' des Punktes O den Abstand

$$Ae = Y\operatorname{tg}\beta. \qquad 43)$$

[1]) Erstmalig angegeben von Dr. von Gruber, München, in einer unveröffentlichten Arbeit vom 20. Mai 1915.

Der Abstand $O''S$ ist gleich dem Abstand ON und werde mit f' bezeichnet. Dann ist

$$f' = \frac{f}{\cos\beta}. \qquad 44)$$

Ändert sich Y, so ändert sich Δe, das Strahlenbüschel bleibt aber unverändert, da der Abstand $O''S$ unverändert bleibt. Durch den Punkt O werde eine Parallele ON'' zum wahren Horizont NN' gelegt. Läßt man eine Ebene um ON'' als Achse sich drehen, so schneidet sie sowohl auf der Bildebene als auch auf der Horizontal-

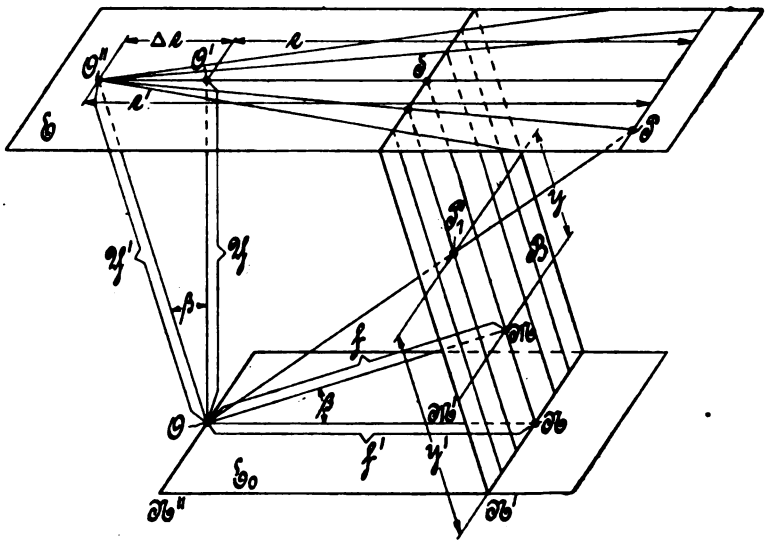


Fig. 34.

ebene E eine Schar zur Linie ON'' paralleler Geraden aus. Eine solche Gerade in der Bildebene hat vom Bildhorizont NN' den Abstand y' und von der durch den Durchstoßpunkt M der Objektivachse mit der Bildebene zum Bildhorizont gezogenen Parallelen MM' den Abstand y, wobei die Gleichung besteht

$$y = y' - f\,\mathrm{tg}\,\beta. \qquad 45)$$

Die zugehörige Gerade in der Horizontalebene E hat von dem Puukt O' den Abstand e und von dem Punkt O'' den Abstand e'. Dabei ist $e' = e + \Delta e$, und es besteht die einfache Beziehung

$$y' = \frac{f'}{e'} \cdot Y',$$

woraus mit 42) und 44) folgt

$$y' = \frac{f \cdot Y}{e' \cos^2\beta}. \qquad 46)$$

Daraus folgt mit 45)

$$y = \frac{fY}{e' \cos^2\beta} - f\,\mathrm{tg}\,\beta,$$

$$y = \frac{f}{\cos^2\beta}\left(\frac{Y}{e'} - \sin\beta\cos\beta\right). \qquad 47)$$

Es sei

$$\frac{f}{\cos^2\beta} = f'',$$

dann ist

$$y = f'' \frac{Y - e' \sin\beta\cos\beta}{e'}. \qquad 48)$$

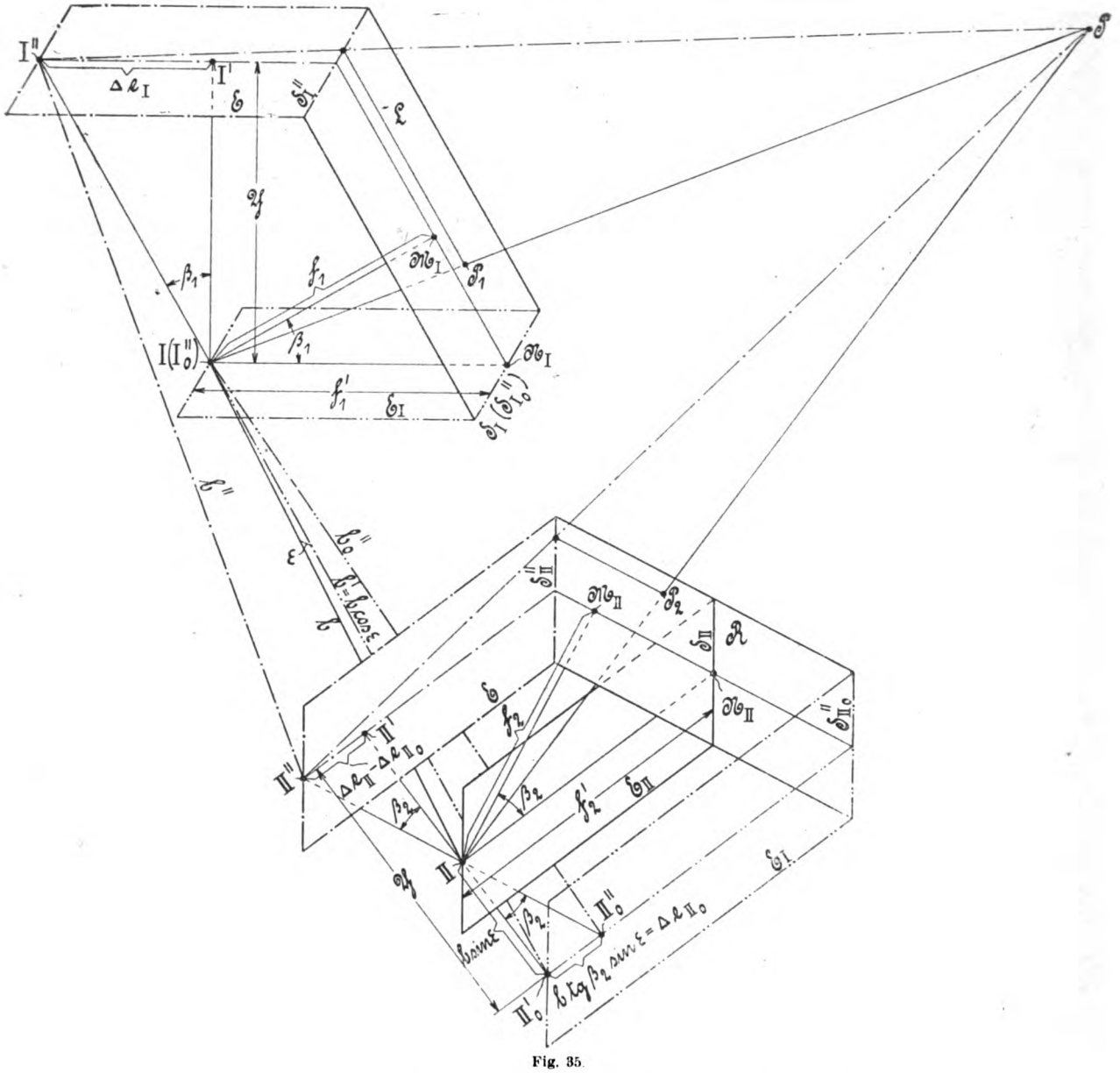


Fig. 35.

b) Abbildung eines Objektes auf zwei gegen die Lotrechte unter beliebigen Winkeln geneigte Bildplatten.

In Fig. 35 ist perspektivisch der Strahlengang bei der Abbildung eines Objektpunktes P auf zwei Bildplatten L und R von beliebiger gegenseitiger Lage dargestellt, mit der für die Ableitung des Folgenden unwesentlichen Annahme,

daß die Bildplatten vor den Objektiven angeordnet sind. Das linke Objektiv, von der Brennweite f_1, ist mit I, das rechte Objektiv, von der Brennweite f_2, ist mit II bezeichnet. P_1 ist das Bild des Punktes P auf der Bildplatte L, P_2 ist das entsprechende Bild auf der Bildplatte R. E_I ist eine Horizontalebene durch I, E_{II} eine Horizontalebene durch II und E eine Horizontalebene durch P. Die Ebene E_I schneidet die Bildplatte L in der Spurlinie S_I (S_{I_0}'') und die Bildplatte R in der Spurlinie S_{II_0}''. Die Ebene E_{II} schneidet die Bildplatte R in der Spurlinie S_{II}, die Ebene E schneidet die Bildplatte L in der Spurlinie S_I'' und die Bildplatte R in der Spurlinie S_{II}''. Die Durchstoßpunkte der Objektivachsen mit den Bildplatten L und R sind M_I und M_{II}, wobei $\overline{I\,M_I} = f_1$ und $\overline{II\,M_{II}} = f_2$. Man ziehe auf der Bildplatte L durch M_I die Vertikale zur Spurlinie S_I, die diese in N_I schneidet, und auf der Bildplatte R durch M_{II} die Vertikale zur Spurlinie S_{II}, die diese in N_{II} schneidet, wobei $\overline{I\,N_I} = f_1'$ und $\overline{II\,N_{II}} = f_2'$. Ferner fälle man von I das Lot auf die Ebene E, das diese in I' schneidet, und von II Lote auf die Ebenen E und E_I, mit den Schnittpunkten II' und II_0'. Endlich ziehe man durch I eine Parallele zu $M_I N_I$, die die Ebene E in I'' schneidet, und durch II eine Parallele zu $M_{II} N_{II}$, die die Ebene E in II'', und die Ebene E_I in II_0'' schneidet. Dann gelten die eingeschriebenen Bezeichnungen $\overline{I\,II} = b$, $\sphericalangle\, \overline{II_0'\,I\,II} = \varepsilon$. $\overline{I\,II_0'} = b' = b\cos\varepsilon$, $\overline{II\,II_0'} = b\sin\varepsilon$, $\sphericalangle\, \overline{N_I\,I\,M_I} = \sphericalangle\, \overline{I'\,I\,I''} = \beta_1$, $\sphericalangle\, \overline{N_{II}\,II\,M_{II}} = \sphericalangle\, \overline{II'\,II\,II''} = \sphericalangle\, \overline{II_0'\,II\,II_0''} = \beta_2$, $\overline{I\,I'} = \overline{II_0'\,II'} = Y$, $\overline{I'\,I''} = \Delta e_I = Y\,\mathrm{tg}\,\beta_1$, $\overline{II_0'\,II_0''} = \Delta e_{II_0} = b\,\mathrm{tg}\,\beta_2 \sin\varepsilon$. $\overline{II'\,II''} = \Delta e_{II} - \Delta e_{II_0} = Y\,\mathrm{tg}\,\beta_2 - b\,\mathrm{tg}\,\beta_2 \sin\varepsilon$, $\overline{I\,II_0''} = b_0''$ und $\overline{I''\,II''} = b''$.

Ein Punkt ist in seiner Horizontalebene bestimmt, wenn Strahlen nach ihm von zwei in derselben Ebene liegenden bekannten Punkten aus gezogen werden. Im allgemeinen pflegen diese Strahlen von den Horizontalprojektionen der Aufnahmestandorte aus gezogen zu werden (I' und II' in Fig. 35). Die Beziehungen zwischen den Raumkoordinaten eines Punktes und den Plattenkoordinaten seiner Bilder können jedoch im Falle gekippter Achsen nur dann auf einfache Weise mechanisch aufrechterhalten werden, wenn man die Horizontalprojektionen I' und II' durch die schrägen Projektionen I'' und II'' ersetzt. Dabei tritt an die Stelle der Horizontalprojektion b' der Standlinie b die Ersatzstandlinie b''. Diese Ersatzstandlinie ist für alle Punkte ein und derselben Horizontalebene dieselbe. Sie ändert jedoch beim Übergang von einer Horizontalebene zur anderen im allgemeinen ihre Länge und Richtung, und außerdem ihre Lage gegenüber b'.

Fig. 36 zeigt eine Projektion verschiedener Ersatzstandlinien in eine Horizontalebene durch das linke Objektiv I. Dabei ist eine Aufnahme vorausgesetzt, bei der die Winkel α, β_1, β_2, γ und ε sämtlich positiv sind, also eine Aufnahme, bei der die Objektivachsen links verschwenkt, nach oben gekippt und konvergent sind, und bei der die Höhe H_{II} des rechten Objektivs, II, größer ist als die Höhe H_I des linken Objektivs I. Die Projektion des rechten Objektivs II ist II_0', wobei $\overline{I\,II_0'} = b' = b\cos\varepsilon$. Die Ersatzstandlinie für die Horizontalebene durch das linke Objektiv I ist $\overline{I\,II_0''} = b_0''$, während $\overline{I_1''\,II_1''} = b_1''$, $\overline{I_2''\,II_2''} = b_2''$ und $\overline{I_3''\,II_3''} = b_3''$ die Ersatzstandlinien für Horizontalebenen sind, die über der Horizontalebene durch das linke Objektiv im Abstande Y_1, Y_2 und Y_3 gelegt sind. Die linken Endpunkte, I_1'', I_2'' und I_3'' der Ersatzstandlinien b_1'', b_2'' und b_3'' liegen auf der Horizontalprojektion der linken Objektivachse und haben von I die Abstände $\Delta e_{I_1} = Y_1\,\mathrm{tg}\,\beta_1$,

$\Delta e_{I_2} = Y_2 \operatorname{tg} \beta_1$ und $\Delta e_{I_3} = Y_3 \operatorname{tg} \beta_1$. Die rechten Endpunkte der Ersatzstandlinien liegen auf der Horizontalprojektion der rechten Objektivachse, und es hat der Endpunkt II_0'' der Ersatzstandlinie b_0'' von II_0' den Abstand $\Delta e_{II_0} = b \operatorname{tg} \beta_2 \sin \varepsilon$, während die Endpunkte II_1'', II_2'' und II_3'' der Ersatzstandlinien b_1'', b_2'' und b_3'' vom Endpunkt II_0'' der Ersatzstandlinie b_0'' die Abstände $\Delta e_{II_1} = Y_1 \operatorname{tg} \beta_2$, $\Delta e_{II_2} = Y_2 \operatorname{tg} \beta_2$ und $\Delta e_{II_3} = Y_3 \operatorname{tg} \beta_2$ haben. Die Verschwenkungswinkel der Ersatzstandlinien b_0''

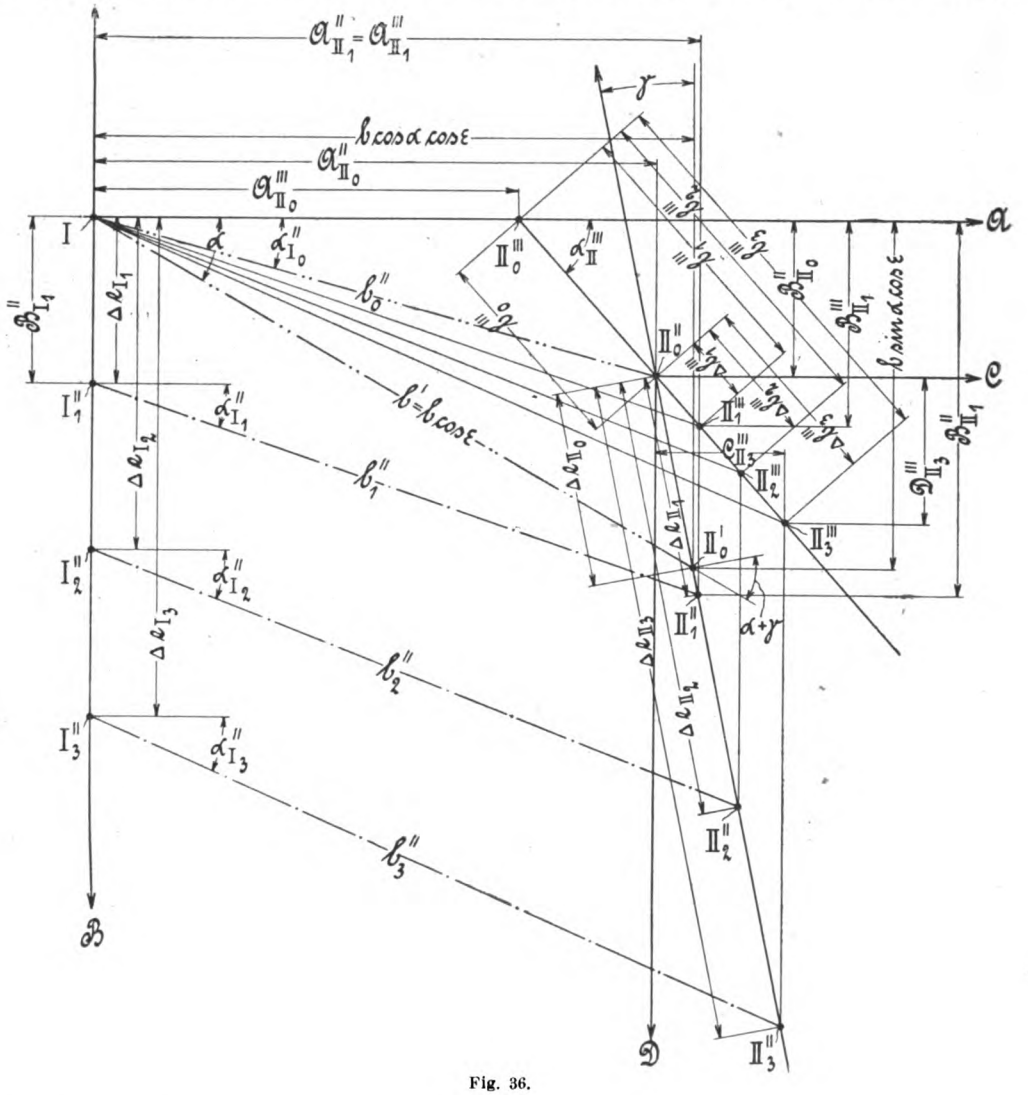


Fig. 36.

b_1'', b_2'' und b_3'' gegen die Lotrechte zur Horizontalprojektion der linken Objektivachse sind mit α_{I_0}'', α_{I_1}'', α_{I_2}'' und α_{I_3}'' bezeichnet. Durch I ist ein horizontales Koordinatensystem gelegt, dessen B-Achse mit der Horizontalprojektion der linken Objektivachse zusammenfällt, während seine A-Achse senkrecht dazu gerichtet ist. Ein entsprechendes Koordinatensystem mit den Achsen C und D hat seinen Anfang in II_0''.

Die Größe und die Richtung der Ersatzstandlinie b_0'' für die Horizontalebene durch das linke Objektiv, I, ergeben sich aus der Figur. In dem Dreieck $I\,II_0'\,II_0''$ ist

$$\overline{I\,II_0''} = \sqrt{(\overline{I\,II_0'})^2 + (\overline{II_0'\,II_0''})^2 - 2\,(\overline{I\,II_0'})\cdot(\overline{II_0'\,II_0''})\cos \overline{I\,II_0'\,II_0''}}$$

oder, mit den geltenden Bezeichnungen

$$b_0'' = b\sqrt{\cos^2\varepsilon + \operatorname{tg}^2\beta_2 \sin^2\varepsilon - 2\operatorname{tg}\beta_2 \sin\varepsilon\cos\varepsilon\sin(\alpha+\gamma)}. \tag{49}$$

Weiter ist

$$\operatorname{tg}\alpha_{I_0}'' = \frac{b\sin\alpha\cos\varepsilon - b\operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma\sin\varepsilon}{b\cos\alpha\cos\varepsilon - b\operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma\sin\varepsilon} = \frac{\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma\sin\varepsilon}{\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma\sin\varepsilon}. \tag{50}$$

Die Koordinaten der beiden Endpunkte I und II_0'' der Ersatzstandlinie b_0'' in bezug auf das durch I gelegene Koordinatensystem A, B sind

$$\left.\begin{aligned} A_I &= 0 \\ B_I &= 0 \\ A_{II_0}'' &= b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma\sin\varepsilon) \\ B_{II_0}'' &= b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma\sin\varepsilon) \end{aligned}\right\} \tag{51}$$

Die Ersatzstandlinie (b'') für jede andere, in einem beliebigen Abstand Y oberhalb oder unterhalb der Horizontalebene durch das linke Objektiv, I, liegende Horizontalebene ist nach Größe, Richtung und Lage gegenüber b' durch die Gleichungen bestimmt

$$\left.\begin{aligned} A_I'' &= 0 \\ B_I'' &= \Delta e_I = Y\operatorname{tg}\beta_1 \\ A_{II}'' &= A_{II_0}'' + \Delta e_{II}\sin\gamma = b(\cos\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma\sin\varepsilon) + Y\operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma \\ B_{II}'' &= B_{II_0}'' + \Delta e_{II}\cos\gamma = b(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma\sin\varepsilon) + Y\operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma \\ b'' &= \sqrt{(A_{II}'')^2 + (B_{II}'' - B_I'')^2} \\ \operatorname{tg}\alpha_I'' &= \frac{B_{II}'' - B_I''}{A_{II}''} \end{aligned}\right\} \tag{52}$$

Zieht man durch I Parallelen zu den Ersatzstandlinien b_1'', b_2'' und b_3'', denen man, von I aus gerechnet, je die Größe der entsprechenden Ersatzstandlinie gibt, so erhält man die Punkte II_1''', II_2''' und II_3'''. Diese Punkte haben — allgemein ausgedrückt — in bezug auf das durch I gelegte Koordinatensystem A, B die Koordinaten

$$\left.\begin{aligned} A_{II}''' &= A_{II_0}'' + Y\operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma \\ B_{II}''' &= B_{II_0}'' + Y(\operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma - \operatorname{tg}\beta_1) \end{aligned}\right\} \tag{53}$$

oder in bezug auf das durch II_0'' gelegte Koordinatensystem C, D die Koordinaten

$$\left.\begin{aligned} C_{II}''' &= Y\operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma \\ D_{II}''' &= Y(\operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma - \operatorname{tg}\beta_1) \end{aligned}\right\} \tag{54}$$

d. h. sie liegen auf einer Geraden durch II_0''. Diese Gerade schneidet die A-Achse in II_0''' und schließt mit dieser Achse (ebenso auch mit der C-Achse) den Winkel α_{II}''' ein. Der Abstand des Schnittpunktes II_0''' von II_0'' ist mit b_0''' bezeichnet. Die Abstände der Punkte II_1''', II_2''' und II_3''' von II_0'' sind mit $\Delta b_1'''$, $\Delta b_2'''$ und $\Delta b_3'''$, die entsprechenden Abstände dieser Punkte von II_0''' mit b_1''', b_2''' und b_3''' bezeichnet. Der Winkel α_{II}''' ist durch die Gleichung bestimmt

$$\operatorname{tg}\alpha_{II}''' = \frac{\operatorname{tg}\beta_2\cos\gamma - \operatorname{tg}\beta_1}{\operatorname{tg}\beta_2\sin\gamma}. \tag{55}$$

Der Schnittpunkt II_0''' hat in bezug auf das durch I gelegte Koordinatensystem A. B die Koordinaten

$$\left.\begin{aligned} A_{II_0}''' &= A_{II_0}'' - B_{II_0}'' \operatorname{cotg} \alpha_{II}''' \\ &= \frac{b\,[\cos\varepsilon\,(\operatorname{tg}\beta_2 \cos(\alpha+\gamma) - \cos\alpha \operatorname{tg}\beta_1) + \operatorname{tg}\beta_1 \operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma \sin\varepsilon]}{\operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma - \operatorname{tg}\beta_1} \\ B_{II_0}''' &= 0 \end{aligned}\right\} \quad 56)$$

Für den Abstand b_0''' und die Abstände $\Delta b'''$ und b''' gelten die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} b_0''' &= \frac{B_{II_0}''}{\sin\alpha_{II}'''} = \frac{b\,(\sin\alpha\cos\varepsilon - \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma \sin\varepsilon)}{\sin\alpha_{II}'''} \\ \Delta b''' &= \sqrt{(C_{II}''')^2 + (D_{II}''')^2} = Y\sqrt{\operatorname{tg}^2\beta_1 + \operatorname{tg}^2\beta_2 - 2\operatorname{tg}\beta_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma} \\ b''' &= b_0''' + \Delta b''' \end{aligned}\right\} \quad 57)$$

Auf Grund der durchgeführten Betrachtung ergibt sich ein Stereoautograph zum Auswerten von Bildplatten, die mit Objektiven von beliebiger Achsenlage gewonnen sind.

Dieser Stereoautograph muß gegenüber der durch Fig. 12 (Tafel III) dargestellten Ausführungsform C zur Auswertung von Bildplatten, bei deren Aufnahme die Objektivachsen horizontal und konvergent waren. die folgenden Änderungen aufweisen.

1. Das Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1 muß jeweils eine solche Stellung einnehmen, daß die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 den Wert e' hat. wobei e' durch die Gleichung bestimmt ist (vgl. Fig. 34)

$$e' = e + \Delta e.$$

Darin ist e die Raumkoordinate Z_1, ferner ist nach Gleichung 43 $\Delta e = Y_1 \operatorname{tg}\beta_1$. Es ist also

$$e' = Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1$$

2. Die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O von der Drehachse O_0 muß den Wert $\frac{f}{\cos\beta_1}$ annehmen. Beim Kopieren wird dann mittels des Doppelhebels d_1, d_2 die Gleichung

$$\frac{\frac{x_1}{f}}{\cos\beta_1} = \frac{X_1}{e'} = \frac{X_1}{Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1} \quad 58)$$

selbsttätig aufrechterhalten.

3. Die Verbindung des Schlittens A_1 mit dem Schlitten A ist so zu wählen. daß die Gleichung

$$\frac{\frac{y_1}{f}}{\cos\beta_1} = \frac{Y_1 - e' \sin\beta_1 \cos\beta_1}{e'} = \frac{Y_1 \cos^2\beta_1 - Z_1 \sin\beta_1 \cos\beta_1}{Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1} \quad 59)$$

(vgl. Gleichung 48) selbsttätig aufrechterhalten wird.

Zu dem Zwecke kann das Hebelsystem e_1, e_2; e_4; e_5, e_6 beibehalten werden, nur muß die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers Q_1 von der Drehachse Q_0 den Wert $e' = Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1$, und die in die Breitenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers Q von der Drehachse Q_0' den Wert $\frac{f}{\cos^2\beta_1}$ annehmen. Dabei muß die Kupplung des Hebelsystems mit dem Stereo-

komparator derart getroffen werden, daß, wenn das Hebelsystem sich in seiner Nullstellung befindet, in der der Doppelhebel e_1, e_2 parallel der Tiefenrichtung und der Arm e_6 des Winkelhebels e_5, e_6 parallel der Breitenrichtung ist, das Mikroskop auf einen Bildpunkt mit der Ordinate $y_1 = -f \operatorname{tg} \beta_1$ eingestellt ist. Für große Winkel β_1 wird jene Komponente $\frac{f}{\cos^2 \beta_1}$. also auch die Exzentrität des Angriffes verhältnismäßig groß.

Dieser Nachteil kann durch eine Verbindung des Schlittens A_1 mit dem Schlitten A vermieden werden, die so beschaffen ist, daß die durch Umformung der Gleichung 59 sich ergebende Gleichung

$$\frac{y_1}{f} = \frac{\frac{Y_1}{\cos \beta_1} - e' \sin \beta_1}{e' \cos \beta_1} = \frac{Y_1 \cos \beta_1 - Z_1 \sin \beta_1}{Y_1 \sin \beta_1 + Z_1 \cos \beta_1} \qquad 59a)$$

selbsttätig aufrechterhalten wird. Diese Gleichung stimmt mit der Gleichung IIf überein, die der Verbindung des Schlittens A_1 mit dem Schlitten A bei der durch Fig. 15 (Tafel V) dargestellten Ausführungsform E zugrunde liegt. Die Verbindung kann also genau wie bei dieser Ausführungsform getroffen werden. Nur ist zu berücksichtigen, daß das Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1 jetzt jeweils noch um den Betrag $\Delta e = Y_1 \operatorname{tg} \beta_1$ in der Tiefenrichtung verschoben ist. Um denselben Betrag muß also der Mitnehmer Q_1 in der Tiefenrichtung zurückverschoben werden, welche Verschiebung ihm zweckmäßig beim Verschieben des Schlittens A_1 um Y_1 selbsttätig erteilt wird.

4. Die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers P von der Drehachse P_0 muß den Wert $\frac{f}{\cos \beta_2}$ annehmen.

5. Der Mitnehmer P_1 ist vor dem Aufzeichnen jeder einzelnen Höhenschichtenlinie so gegenüber dem Schlitten B_1 einzustellen, daß sein Abstand von seiner Nullstellung gleich der zu der betreffenden Höhenschichtenlinie gehörenden Ersatzstandlinie b'' ist, wobei diese Ersatzstandlinie mit der Breitenrichtung den Winkel α_I'' einschließen muß. Dabei ist jene Nullstellung durch die Schnittlinie zweier lotrechten Ebenen bestimmt, deren eine parallel der Verbindungslinie $O_0 O_1$ und deren andere parallel der Verbindungslinie $O_0 P_0$ ist. Die Einstellung kann auf dreierlei Weise erfolgen.

a) Der Mitnehmer P_1 sitzt auf einem Längsschlitten, der auf einem auf dem Schlitten B_1 angeordneten Drehschlitten verschieblich ist. In diesem Falle gelangt der Mitnehmer dadurch in seine richtige Lage, daß erstens der Drehschlitten so eingestellt wird, daß die Verschiebungsrichtung des Längsschlittens mit der Breitenrichtung den Winkel α_I'' einschließt, und daß zweitens der Längsschlitten um den im Kopiermaßstab gemessenen Wert b'' aus seiner Nullstellung verschoben wird. Beide Einstellungen sind vor dem Aufzeichnen jeder einzelnen Höhenschichtlinie vorzunehmen. Beim Kopieren wird dann, wenn die Arme h_1 und h_2 wie bei der Ausführungsform C um den Winkel γ gegeneinander geneigt eingestellt werden, die Gleichung erfüllt

$$\frac{x_2}{\frac{f}{\cos \beta_2}} = \frac{(X_1 + b'' \cos \alpha_I'') \cos \gamma - (e' + b'' \sin \alpha_I'') \sin \gamma}{(X_1 + b'' \cos \alpha_I'') \sin \gamma + (e' + b'' \sin \alpha_I'') \cos \gamma} \qquad 60)$$

Die beschriebene Einstellung des Mitnehmers P_1 ist unzweckmäßig, da sowohl der Winkel α_I'' als auch die Länge b'' nur durch langwierige Rechnung zu ermitteln ist, wobei diese Rechnung für jede einzelne Höhenschichtenlinie vorzunehmen ist.

b) Das unter *a* erwähnte Schlittensystem ruht auf einem auf dem Schlitten B_1 angeordneten, gegenüber diesem Schlitten in der Breitenrichtung verschieblichen Schlitten (i_1 in Fig. 12, Tafel III)). In diesem Falle gelangt der Mitnehmer P_1 dadurch in seine richtige Lage, daß erstens der in der Breitenrichtung verschiebliche Schlitten (i_1) um den im Kopiermaßstab gemessenen Wert A_{II_0}''' aus seiner Nullstellung verschoben wird, daß zweitens der Drehschlitten so eingestellt wird, daß die Verschiebungsrichtung des den Mitnehmer tragenden Längsschlittens mit der Breitenrichtung den Winkel α_{II}''' einschließt, und daß drittens dieser Längsschlitten um den im Kopiermaßstab gemessenen Wert b''' aus seiner Nullstellung verschoben wird. Die ersten beiden Einstellungen sind für ein und dasselbe Bildplattenpaar nur einmal vorzunehmen, die dritte Einstellung dagegen hat vor dem Aufzeichnen jeder einzelnen Höhenschichtenlinie zu erfolgen. Beim Kopieren wird dann, wenn die Arme h_1 und h_2 um den Winkel γ gegeneinander geneigt eingestellt werden, die Gleichung erfüllt

$$\frac{\frac{x_2}{f}}{\cos\beta_2} = \frac{(X_1 + b''' \cos\alpha_{II}''' + A_{II_0}''') \cos\gamma - (e' + b''' \sin\alpha_{II}''') \sin\gamma}{(X_1 + b''' \cos\alpha_{II}''' + A_{II_0}''') \sin\gamma + (e' + b''' \sin\alpha_{II}''') \cos\gamma} \qquad 60a)$$

So einfach diese Einstellung des Mitnehmers P_1 erscheint, brauchbar ist sie nicht, und zwar aus folgendem Grunde. Aus der Gleichung 56 folgt, daß A_{II_0}''' wächst, wenn $\operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma - \operatorname{tg}\beta_1$ abnimmt. Wird $\operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma = \operatorname{tg}\beta_1$, was bei ungefähr gleichen Winkeln β_1 und β_2 und bei kleinem Winkel γ häufig ganz oder nahezu eintreten kann, so wird A_{II_0}''' sogar ∞. Konstruktiv ist daher die Einstellung nicht zu verwirklichen.

c) Das unter a erwähnte Schlittensystem ruht auf dem Kreuzschlittensystem i_4, i_5 der Fig. 12 (Tafel III). In diesem Falle gelangt der Mitnehmer P_1 dadurch in seine richtige Lage, daß erstens der Schlitten i_4 um den im Kopiermaßstab gemessenen Wert A_{II_0}'', und daß zweitens der Schlitten i_5 um den im Kopiermaßstab gemessenen Wert B_{II_0}'' aus der Nullstellung verschoben wird, daß drittens der Drehschlitten so eingestellt wird, daß die Verschiebungsrichtung des den Mitnehmer tragenden Längsschlittens mit der Breitenrichtung den Winkel α_{II}''' einschließt, und daß viertens dieser Längsschlitten um den im Kopiermaßstab gemessenen Wert $\Delta b'''$ aus seiner Nullstellung verschoben wird. Die ersten drei Einstellungen sind für ein und dasselbe Bildplattenpaar nur einmal vorzunehmen. Die vierte Einstellung dagegen hat vor dem Aufzeichnen jeder einzelnen Höhenschichtenlinie zu erfolgen. Nach der Gleichung 57 hat $\Delta b'''$ den Wert $Y_1 \sqrt{\operatorname{tg}^2\beta_1 + \operatorname{tg}^2\beta_2 - 2\operatorname{tg}\beta_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma}$. Der Wurzelwert ist für ein und dasselbe Bildplattenpaar unveränderlich, so daß $\Delta b'''$ nur mit Y_1 veränderlich und daher in jedem einzelnen Falle leicht zu berechnen ist. Beim Kopieren wird dann, wenn die Arme h_1 und h_2 um den Winkel γ gegeneinander geneigt eingestellt werden, die Gleichung erfüllt

$$\frac{\frac{x_2}{f}}{\cos\beta_2} = \frac{(X_1 + \Delta b''' \cos\alpha_{II}''' + A_{II_0}'') \cos\gamma - (e' + \Delta b''' \sin\alpha_{II}''' + B_{II_0}'') \sin\gamma}{(X_1 + \Delta b''' \cos\alpha_{II}''' + A_{II_0}'') \sin\gamma + (e' + \Delta b''' \sin\alpha_{II}''' + B_{II_0}'') \cos\gamma} \qquad 60b)$$

Daraus folgt mit den Gleichungen 51 und 57, und ferner mit den sich aus der Gleichung 55 ergebenden Gleichungen

$$\sin \alpha_{II}''' = \frac{\operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma - \operatorname{tg}\beta_1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2\beta_1 + \operatorname{tg}^2\beta_2 - 2\operatorname{tg}\beta_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma}}$$

$$\cos \alpha_{II}''' = \frac{\operatorname{tg}\beta_2 \sin\gamma}{\sqrt{\operatorname{tg}^2\beta_1 + \operatorname{tg}^2\beta_2 - 2\operatorname{tg}\beta_1 \operatorname{tg}\beta_2 \cos\gamma}}$$

und mit der Gleichung

$$e' = Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1$$

$$\frac{\frac{x_2}{f}}{\cos\beta_2} = \frac{X_1 \cos\gamma - Z_1 \sin\gamma + b\cos\varepsilon\cos(\alpha+\gamma)}{X_1 \sin\gamma + Y_1 \operatorname{tg}\beta_2 + Z_1 \cos\gamma + b(\cos\varepsilon \sin(\alpha+\gamma) - \operatorname{tg}\beta_2 \sin\varepsilon)} \quad 60c)$$

Eine entsprechend den unter 1 bis 5 beschriebenen Änderungen gewählte Ausführungsform des Stereoautographen ist, wie die Ausführungsform *E* (siehe Fig. 15, Tafel V) nur zum Aufzeichnen von Höhenschichtenlinien verwendbar. Dabei gibt der Zeichenstift z_1 auf dem Zeichenbrett z_2 jede Höhenschichtenlinie richtig in sich und in bezug auf die schräge Projektion *I''* (siehe Fig. 35) des linken Objektivs auf die der betreffenden Höhenschichtenlinie entsprechende Horizontalebene wieder, also jeden Punkt in der Entfernung $e' = Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 + Z_1$. Die Entfernung jedes Punktes in bezug auf die Horizontalprojektion *I'* des linken Objektivs ist aber nur $e = e' - \Delta e = e' - Y_1 \operatorname{tg}\beta_1 = Z_1$. Um also die Höhenschichtenlinien in ihrer richtigen Lage zueinander zu erhalten, muß

6. beim Übergang von einer Höhenschichtenlinie zur anderen der Zeichenstift gegenüber dem Zeichenbrett in der Tiefenrichtung eine Verschiebung um $e' - e = Y_1 \operatorname{tg}\beta_1$ erfahren. Es empfiehlt sich, diese Verschiebung dem Zeichenstift zu erteilen, und zwar zweckmäßig selbsttätig bei der Einstellung des Schlittens A_1 entsprechend Y_1.

Die Gleichungen 58, 59 bzw. 59a und 60c lassen sich durch eine einfache Umrechnung auf die entsprechenden Hauptgleichungen I bis III für den Fall beliebig gerichteter Achsen zurückführen, ein Beweis dafür, daß die v. Grubersche Untersuchung richtig ist.

c) Ausführungsform *L*.

Die durch Fig. 37 (Tafel XI) veranschaulichte Ausführungsform *L* des Stereoautographen ist unter Berücksichtigung der Änderungsvorschläge gegenüber der Ausführungsform *C* entworfen. Dabei liegt für den Stereokomparator der Sonderfall zugrunde, daß der Schlitten *A* das Mikroskop *M* trägt. Ihrem Aufbau nach hat die Ausführungsform *L* Ähnlichkeit mit der durch Fig. 15 (Tafel V) dargestellten Ausführungsform *E*. Daher sollen nur die gegenüber dieser Ausführungsform erforderlichen Änderungen beschrieben werden.

Der Schlitten m_1 der Fig. 15 fällt weg, der Mitnehmer O_1 sitzt unmittelbar auf dem Schlitten B_1. Der Mitnehmer P_1 ist nicht mehr unmittelbar auf dem Schlitten i_5 angeordnet, sondern, wie bei der Ausführungsform *F* (Fig. 18, Tafel VI), auf einem Schlitten i_9, der längs einer Geradführung i_{10} eines Drehschlittens i_{11} verschieblich angeordnet ist. In der Nullstellung des Schlittens i_9 liegt der Mitnehmer P_1 in der Achse dieses Drehschlittens. Verschiebungen des Schlittens i_9 aus seiner Nullstellung werden durch seinen Zeiger i_{12} an einer Skala i_{17} der einen Führungsleiste angezeigt. Durch eine Klemmschraube i_{18} kann der Schlitten i_9 auf dem Drehschlitten i_{11} festgestellt werden. Der Drehschlitten ist auf dem Schlitten i_5 drehbar gelagert und kann durch eine Klemmschraube i_{14} auf diesem Schlitten festgestellt werden. Ein Zeiger i_{15} des Drehschlittens zeigt an einer im Uhrzeigersinn zunehmenden Grad-

Tafel XI.

Ausführungsform L.

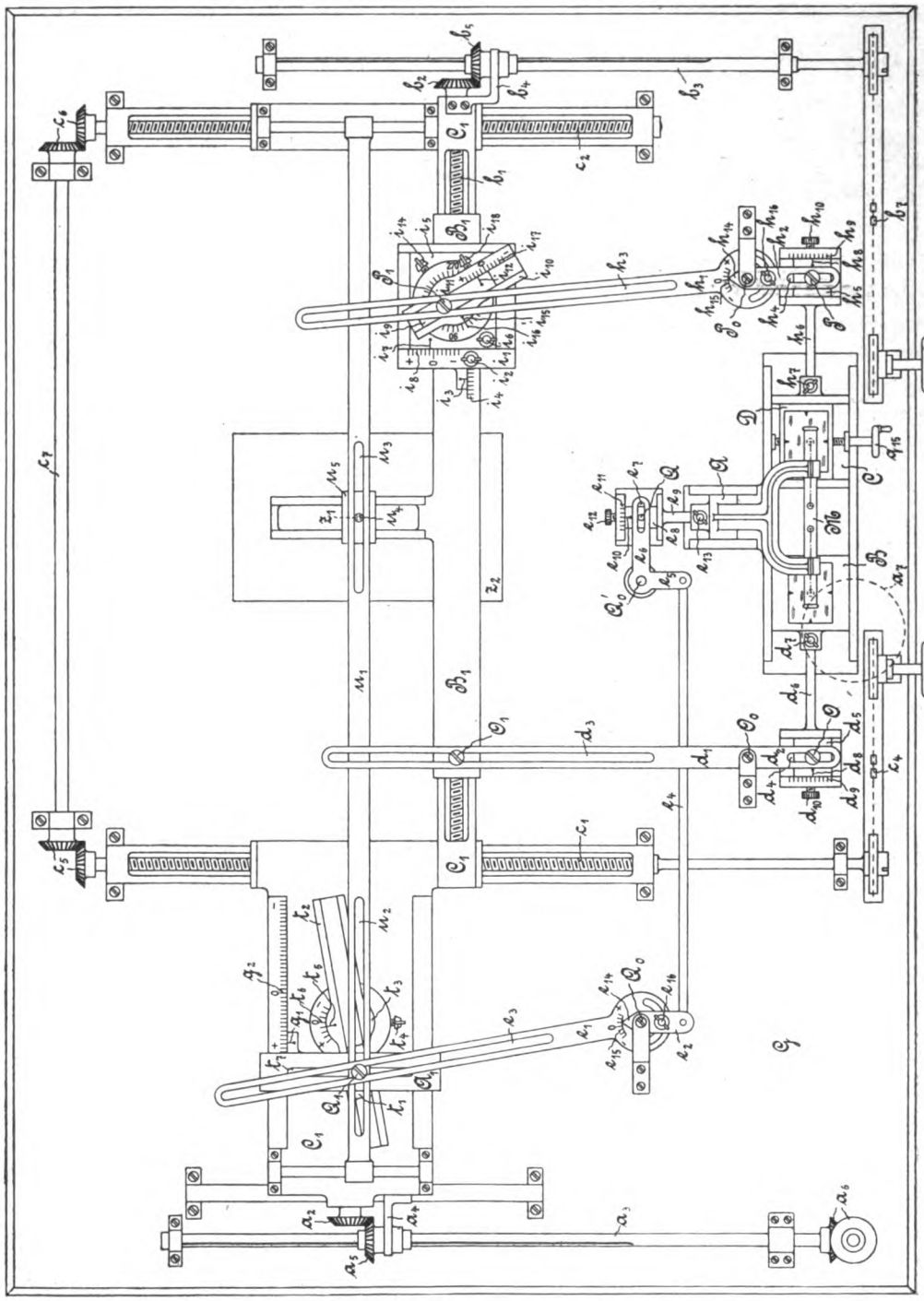


Fig. 37.

teilung i_{16} des Schlittens i_5 jeweils denjenigen Winkel an, um den der Drehschlitten aus seiner Nullstellung verdreht ist, die er dann einnimmt, wenn die Verschiebungsrichtung des Schlittens i_9 parallel der Breitenrichtung ist. Dabei ist der Richtungssinn der Skala i_{17} so gewählt, daß, wenn der Drehschlitten i_{11} sich in seiner Nullstellung befindet, und wenn der Schlitten i_9 aus seiner Nullstellung nach dem Mitnehmer O_1 zu verschoben wird, an der Skala i_{17} durch den Zeiger i_{12} ein positiver Wert angezeigt wird.

Der Mitnehmer Q_1 sitzt nicht mehr auf dem Schlitten A_1, sondern auf einem Schlitten t_1, der längs einer Geradführung t_2 eines Drehschlittens t_3 verschieblich ist. Dieser Drehschlitten ist auf dem Schlitten C_1 drehbar so gelagert, daß seine Drehachse mit Drehachse Q_0 in einer die Tiefenrichtung enthaltenden Lotebene liegt, und daß dabei der Abstand seiner Drehachse von der Drehachse Q_0 gleich der in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes des Mitnehmers O_1 von der Drehachse O_0 ist. Durch eine Klemmschraube t_4 kann der Drehschlitten auf dem Schlitten C_1 festgestellt werden. Ein Zeiger t_5 des Drehschlittens zeigt an einer entgegen dem Uhrzeigersinn zunehmenden Gradteilung t_6 des Schlittens C_1 jeweils denjenigen Winkel an, um den der Drehschlitten aus seiner Nullstellung verdreht ist, die er dann einnimmt, wenn die Verschiebungsrichtung des Schlittens t_1 in die Breitenrichtung fällt Damit der Mitnehmer Q_1 beim Verschieben des Schlittens A_1 in der Breitenrichtung. wie erforderlich, eine Verschiebung in der Tiefenrichtung erfährt, die gleich dem Produkt aus der Verschiebung des Schlittens A_1 und aus der Tangente des Neigungswinkels der Geradführung t_2 gegen die Breitenrichtung ist, ist er in einem der Tiefen richtung parallelen Schlitz t_7 des Schlittens A_1 geradegeführt. Dieser Schlitz hat eine solche Lage, daß, wenn der Mitnehmer Q_1 mit der Achse des Drehschlittens t_3 zusammenfällt, an der Skala g_2 des Schlittens C_1 durch den Zeiger g_1 des Schlittens A_1 der Wert Null angezeigt wird.

Damit, wie erforderlich, der Zeichenstift z_1 beim Verschieben des Schlittens A_1 in der Breitenrichtung die gleiche Verschiebung in der Tiefenrichtung erfährt wie der Mitnehmer Q_1, ist die folgende Kupplung des Zeichenstiftes mit dem Mitnehmer vorgesehen. Auf dem Schlitten C_1 ist ein in der Tiefenrichtung verschieblicher Schlitten u_1 angeordnet, der zwei der Breitenrichtung parallele Schlitze u_2 und u_3 enthält. In den einen Schlitz, u_2, greift der Mitnehmer Q_1 ein, in den anderen Schlitz, u_3, ein Zapfen u_4 eines auf dem Schlitten B_1 in der Tiefenrichtung verschieblich angeordneten Schlittens u_5, an dem der Zeichenstift befestigt ist. In der Zeichnung ist der Zeichenstift nicht sichtbar. Er ist lotrecht unter dem Zapfen u_4 befindlich zu denken.

Damit die Gleichungen 58, 59a und 60b (bzw. 60c) beim Kopieren selbsttätig aufrechterhalten werden, ist die folgende Einstellung der Schlitten d_5, e_8, h_5, i_1 und i_5, der Drehschlitten i_{11} und t_3 und der Doppelhebel e_1, e_2 und h_1, h_2 erforderlich. An de Skala d_9 muß der Wert $\frac{f}{\cos\beta_1}$, an der Skala e_{11} der Wert f, an der Skala h_9 der Wert $\frac{f}{\cos\beta_2}$, an der Skala i_4 der Wert A_{II_0}'' und an der Skala i_8 der Wert B_{II_0}'' angezeigt werden, die beiden letzten Werte im Kopiermaßstab gemessen. An der Gradteilung i_{16} muß der Winkel α_{II}''', an den Gradteilungen t_6 und e_{15} der Winkel β_1 und an der Gradteilung h_{15} der Winkel γ angezeigt werden. Der Schlitten i_9 ist so einzustellen, daß an der Skala i_{17} der im Kopiermaßstab gemessene Wert $\Delta b'''$ angezeigt wird.

wobei der Berechnung von $\Delta b'''$ jeweils der an der Skala g_2 angezeigte Wert Y_1 zugrunde zu legen ist.

In Fig. 37 (Tafel XI) sind wie in Fig. 15 (Tafel V) im Stereokomparator die Marken des Mikroskops M auf die Bilder des Schnittpunktes der linken Objektivachse mit der die rechte Objektivachse enthaltenden Lotebene eingestellt. Bei dieser Einstellung müssen sich die Doppelhebel d_1, d_2 und h_1, h_2 sowie das Hebelsystem e_1, e_2; e_4; e_5, e_6 in ihrer Nullstellung befinden, die mit der Nullstellung der Hebel in Fig. 15 übereinstimmt. Dabei zeigt der Zeiger g_1 des Schlittens A_1 an der Skala g_2 den Wert

$$Z_1 \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{b \operatorname{tg} \beta_1 \cos \varepsilon \cos(\alpha + \gamma)}{\sin \gamma} \text{ an.}$$

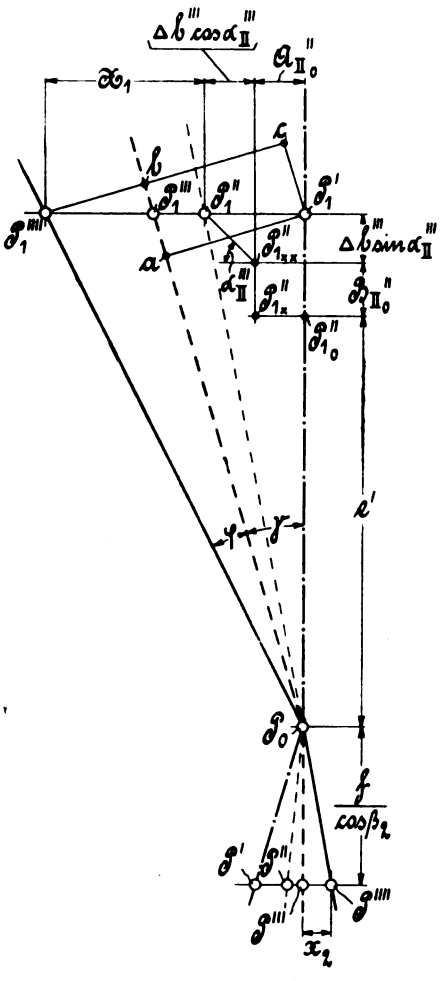


Fig. 38.

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung die Gleichung 58 erfüllt wird, läßt sich aus der Figur ohne weiteres herleiten, wenn man für die in die Tiefenrichtung fallende Komponente des Abstandes $O_0 O_1$ den ihr zukommenden Wert $e' = Y_1 \operatorname{tg} \beta_1 + Z_1$, und wenn man für die entsprechende Komponente des Abstandes $O_0 O$ den Wert $\frac{f}{\cos \beta_1}$ einsetzt.

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung der Schlitten und Hebel die Gleichung 59a richtig erfüllt wird, kann genau wie bei der Beschreibung der Ausführungsform E geliefert werden (vgl. Fig. 16), da ja der Angriff des Hebelarmes e_1 an dem Kreuzschlittensystem A_1, B_1, C_1, der allein eine Änderung erfahren hat, so getroffen ist, daß der Mitnehmer Q_1 jeweils eine solche Einstellung erfährt, daß die in die Breitenrichtung fallende Komponente seines Abstandes von der Drehachse Q_0 den Wert Y_1, und die in die Tiefenrichtung fallende Komponente dieses Abstandes den Wert $e' - Y_1 \operatorname{tg} \beta_1 = Z_1$ annimmt, genau wie bei der Ausführungsform E.

Der Beweis dafür, daß bei der beschriebenen Einstellung der Schlitten und Hebel die Gleichung 60b richtig erfüllt wird, folgt aus Fig. 38. Darin ist der Doppelhebel h_1, h_2 in vier Stellungen gezeichnet, deren jeder eine Einstellung des Apparates für einen Objektpunkt mit den von Null abweichenden Koordinaten Y_1 und Z_1 zugrunde liegt. Die durch strichpunktierte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $X_1 = -(\Delta b''' \cos \alpha_{II}''' + A_{II_0}'')$. Die durch schwach gestrichelte Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der Koordinate $X_1 = 0$. Bei dieser Stellung ist angedeutet, wie der Mitnehmer P_1 aus seiner Nullstellung P_{1_0}'' durch Verschieben des Schlittens i_1 aus seiner Nullstellung

um A_{II_0}'' nach P_{1x}'', wie er ferner durch Verschieben des Schlittens i_5 aus seiner Nullstellung um B_{II_0}'' von P_{1x}'' uach P_{1xx}'', und wie er endlich durch Drehen des Drehschlittens i_{11} aus seiner Nullstellung um α_{II}''' und durch Verschieben des Schlittens i_9 aus seiner Nullstellung um $\Delta b'''$ von P_{1xx}'' in seine richtige Lage P_1'' gelangt. Die durch stark gestrichelte Linien angedeutete Stellung ist die Nullstellung des Doppelhebels, die der Einstellung eines Objektpunktes entspricht, zu dem die Plattenkoordinate $x_2 = 0$ gehört. Die durch ausgezogene Linien angedeutete Stellung entspricht der Einstellung eines Objektpunktes mit der von Null abweichenden Koordinate X_1 und der zugehörigen Plattenkoordinate x_2. Mit den eingeschriebenen Bezeichnungen folgt dann aus der Figur, wenn man noch von P_1' und P_1'''' Lote auf $P_0 P_1'''$ fällt. und wenn man ferner durch P_1' zu $P_0 P_1'''$ eine Parallele zieht:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{x_2}{f}}{\cos \beta_2} = \frac{\overline{P_1'''' b}}{\overline{P_0 b}}$$

$$= \frac{\overline{P_1'''' c} - \overline{b c}}{\overline{P_0 a} + \overline{a b}} = \frac{\overline{P_1'''' c} - \overline{P_1' a}}{\overline{P_0 a} + \overline{P_1' c}}$$

$$= \frac{(X_1 + \Delta b''' \cos \alpha_{II}''' + A_{II_0}'') \cos \gamma - (e' + B_{II_0}'' + \Delta b''' \sin \alpha_{II}''') \sin \gamma}{(e' + B_{II_0}'' + \Delta b''' \sin \alpha_{II}''') \cos \gamma + (X_1 + \Delta b''' \cos \alpha_{II}''' + A_{II_0}'') \sin \gamma}.$$

was zu beweisen war.

Denkt man sich in Fig. 37 (Tafel XI) sämtliche Klemmschrauben angezogen, so kann durch Betätigen der Handräder b_6, c_3 und q_{15} die der Koordinate $Y_1 = Z_1 \operatorname{tg} \beta_1$ entsprechende Höhenschichtenlinie aufgezeichnet werden. Um eine andere, z. B. die einer Koordinate Y_1' entsprechende Höhenschichtenlinie aufzeichnen zu können, ist durch Drehen der Fußscheibe a_7 der Schlitten A_1 so einzustellen, daß sein Zeiger g_1 an der Skala g_2 den im Kopiermaßstab gemessenen Wert Y_1' anzeigt, und ist weiter, nach Lösen der Klemmschraube i_{18}, der Schlitten i_9 so einzustellen, daß an der Skala i_{17} der gemäß dieser Koordinate Y_1' zu berechnende Wert $\Delta b'''$ angezeigt wird, worauf nach Anziehen der Klemmschraube der Apparat gebrauchsfertig zum Aufzeichnen dieser anderen Höhenschichtenlinie ist.

Vergleicht man die Ausführung L nach v. Gruber mit der vom Verfasser angegebenen Ausführungsform E, die ihr in bezug auf Leistungsfähigkeit gleichsteht — beide Ausführungsformen sind nur zum Aufzeichnen von Höhenschichtenlinien verwendbar — so scheint der Aufbau der Ausführungsform E einfacher zu sein. Dafür ist bei der Ausführungsform L die Bedienung einfacher, wenn der Apparat für eine andere Höhenschichtenlinie eingestellt werden soll. Es ist nämlich nur eine Einstellung zu ändern, während bei der Ausführungsform E die Änderung von drei Einstellungen erforderlich ist. Diese drei Einstellungen lassen sich übrigens auf zwei herabsetzen, wenn der Mitnehmer P_1 auf einem ebensolchen viergliedrigen Schlittensystem angeordnet wird, wie bei der Ausführungsform L, wie ja auch bei der Ausführungsform F angenommen ist. Während jedoch die Ausführungsform E, wie die Ausführungsform F zeigt, weiter so entwickelt werden konnte, daß die zum Zweck des Überganges von einer Höhenschichtenlinie zur anderen vorzunehmenden Einstellungen selbsttätig bewirkt werden, ist eine solche Weiterentwicklung der Ausführungsform L nach v. Gruber durch Hinzufügen einer ähnlich einfachen Kupplung des Mitnehmers P_1 mit dem Schlitten A_1 nicht möglich. Der Winkel α_{II}''', dem gemäß der Drehschlitten i_{11} einzustellen ist, kann sich nämlich, wie aus der Gleichung 55

ersichtlich ist, für zugelassene Werte von β_1 und β_2 zwischen $+ 30^0$ und $- 30^0$ und von γ zwischen $+ 20^0$ und $- 20^0$, zwischen den Grenzen $+ 90^0$ und $- 90^0$ bewegen, so daß der Fall eintreten müßte, in dem infolge von Selbsthemmung die Schlitten festsitzen.

Schlußbemerkungen.

Soweit es sich überblicken läßt, ist durch die vorliegende Arbeit die gestellte Aufgabe, die Grundlagen für die Konstruktion eines Stereoautographen zur Verfügung zu stellen, der zum Auswerten von Aufnahmen mit beliebiger Lage der Objektivachsen geeignet ist, restlos gelöst. Welche der vorgeschlagenen Ausführungsformen sich für die Konstruktion am besten eignen wird, bleibt einstweilen eine offene Frage, deren Beantwortung eingehenden Untersuchungen vorbehalten bleiben muß. Größtes Gewicht wird dabei der Tatsache beigelegt werden müssen, daß das Hinzutreten jedes neuen Konstruktionselementes zu dem in der Praxis bewährten Modell des Stereoautographen neue Fehlerquellen aufbringt. Eine Konstruktion, die das Minimum an neuen Schlittenführungen und Hebeln erfordert, wird also im allgemeinen die meiste Aussicht haben. Weiter wird der bewährten Übertragung von Präzisionsbewegungen durch Hebel derjenigen durch Radgetriebe der Vorzug zu geben sein, da diese Hebelübertragung ein Minimum von totem Gang gewährleistet. Eingehende Untersuchungen darüber, welche Zeichengenauigkeit sich erreichen läßt, werden sich erst anstellen lassen, wenn die fertige Konstruktionszeichnung vorliegt. Die der Arbeit beigegebenen schematischen Zeichnungen, bei denen zur Veranschaulichung die Größenverhältnisse einzelner Konstruktionsglieder ganz wesentlich übertrieben sind, bieten keinen genügenden Anhalt dafür. Es ist aber zu erwarten, daß die erreichbare Zeichengenauigkeit noch weit innerhalb der Fehlergrenzen bleiben wird, die durch Dehnungen des Zeichenpapiers bedingt sind und die etwa ± 1 mm betragen. Bisher pflegte das Zeißwerk keinen Stereoautographen hinausgehen zu lassen, bei dem nicht mindestens bei einem Verhältnis von $\frac{b \cos \varepsilon}{Z_1} = \frac{1}{70}$ (d. i. das Verhältnis der Verschiebung des Mitnehmers P_1 aus seiner Nullstellung zu der in die Tiefenrichtung fallenden Komponente des Abstandes dieses Mitnehmers von der Drehachse P_0) eine Zeichengenauigkeit von $\pm 0{,}4$ mm gewährleistet war. Tatsächlich wird beim Auswerten dieses Verhältnis etwa zwischen $^1/_{10}$ und $^1/_{20}$ angenommen. Rechnet man — ungünstig — mit $\frac{2}{35}$, so ist also der dem Quadrate der Entfernung proportionale Fehler der Zeichengenauigkeit nur $0{,}4 \left(\frac{1}{70} : \frac{2}{35}\right)^2 = 0{,}025$ mm. Die oben ausgesprochene Erwartung dürfte also berechtigt sein. Prüfungen des Stereoautographen auf seine Genauigkeit sind auch auf folgendem Wege vorgenommen worden. Man hat ein Netz genau bestimmter trigonometrischer Punkte aufgenommen, diese Punkte auf einem Zeichenblatt durch Nadelstiche genau markiert und alsdann mittels des Stereoautographen kontrolliert. Es hat sich dabei stets absolute Übereinstimmung ergeben.[1])

[1]) Über die Leistungsfähigkeit des Stereoautographen, von der bereits in der Einleitung die Rede war, und über die Leistungsfähigkeit des stereophotogrammetrischen Verfahrens überhaupt siehe: v. Orel, „Über die Anwendung des stereoautographischen Verfahrens für Mappierungszwecke", M. d. k. u. k. M. I. ***31.*** und auch Korzer, „Die Stereoautogrammetrie im Dienste der Landesaufnahme", M. d. k. u. k. M. I. ***33.***

Sicher ist anzunehmen, daß das Justieren der neuen Ausführungsformen infolge der vermehrten Zeigereinstellungen erheblich mehr Zeitaufwand erfordern wird, als bisher. Genaueres läßt sich darüber noch nicht sagen.[1]) Wesentlich wird sein, daß bei der Aufnahme die Neigungswinkel β_1 und β_2 der Objektivachsen gegen die Horizontalebene genau bestimmt werden. Für die Aufnahme von Luftfahrzeugen aus sind exakte Methoden der Bestimmung der Aufnahmestandorte und der Winkel α, β_1, β_2, γ, ε überhaupt erst noch anzugeben. Unter der Voraussetzung, daß sämtliche Aufnahmedaten genau festliegen, ist nach beendigter Justierung die Schnelligkeit der Punktauftragung oder der Auftragung beliebiger Linien der Objektoberfläche bei allen vorgeschlagenen Ausführungsformen als gleich zu erachten. Bei den Ausführungsformen E und L bleibt natürlich der Nachteil bestehen, daß sie nur zum Auftragen von Höhenschichtenlinien verwendbar sind und daß für jede neue Höhenschichtenlinie eine Neueinstellung von Schlitten erforderlich ist. Diese beiden Ausführungsformen dürften also für die Konstruktion kaum in Frage kommen.

Verzeichnis der benutzten Schriften.

Abkürzungen:

I. A. f. Ph. = Internationales Archiv für Photogrammetrie. M. d. k. u. k. M. I. = Mitteilungen des k. u. k. Militärgeographischen Institutes.

1. Brückner, E., „Oberleutnant Ed. Ritter von Orels Stereoautograph als Mittel zur automatischen Herstellung von Schichtenplänen und Karten", Mitteilungen der k. und k. Geographischen Gesellschaft in Wien. 1911. Heft 4.

2. Deville, E., „On the Use of Wheatstone Stereoscope in Photographing Surveying". Transactions of the Royal Society of Canada. 1902/03. S. 63.

3. Doležal, E., „Der Stereoautograph des k. u. k. Hauptmannes Eduard Ritter von Orel" I. A. f. Ph. **3.** 1912. S. 38.

4. Doležal, E., „Instrumentelle Neuerungen. VI. Stereoplotter des englischen Leutnants V. Thompson". I. A. f. Ph. **3.** 1912. S. 130.

5. Fuchs, K., „Bemerkungen zum Orelschen Stereoautographen". I. A. f. Ph. **3.** 1912. S. 184.

6. Günther, L., „Die Photogrammetrie im Dienste der Technik", Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes. Berlin. Jahrgang 1913. S. 95.

7. v. Hübl, A., „Die stereophotogrammetrische Terrainaufnahme". M. d. k. u. k. M. I. Wien. **23.** 1904.

8. v. Hübl, A., „Beiträge zur Stereophotogrammetrie". M. d. k. u. k. M. I. Wien. **24.** 1905.

9. Kammerer, G., „Th. Scheimpflugs Landvermessung aus der Luft". I. A. f. Ph. **3.** 1912. S. 196.

10. Korzer, K., „Die Stereo-Autogrammetrie im Dienste der Landesaufnahme". M. d. k. u. k. M. I. Wien. **33.** 1914. Ref. I. A. f. Ph. **5.** 1915. S. 71.

11. Lüscher, H., „Der Stereoautograph, Modell 1914, seine Berichtigung und Anwendung". Zeitschrift für Instrumentenkunde. **39.** 1919. S. 2.

12. v. Mühlkampf, A., „Oberleutnant v. Orels Stereoautograph". Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens. Wien. 1911. Heft 5.

13. v. Orel, E., „Autostereograph". I. A. f. Ph. **1.** 1908. S. 135.

14. v. Orel, E., „Der Stereoautograph als Mittel zur automatischen Verwertung von Komparatordaten". M. d. k. u. k. M. I. Wien. **30.** 1911.

15. v. Orel, E., „Über die Anwendung des stereoautographischen Verfahrens für Mappierungszwecke". M. d. k. u. k. M. I. Wien. **31.** 1912.

[1]) Über die Justierung der zur Zeit im Gebrauch stehenden (der Ausführungsform C entsprechenden) Modelle des Stereoautographen siehe: Lüscher, „Der Stereoautograph, Modell 1914, seine Berichtigung und Anwendung", von der Technischen Hochschule zu Darmstadt genehmigte Doktordissertation (*diese Zeitschr. 39. S. 2. 1919*).

16. v. Orel, E., „Der Stereoautograph Modell 1911". I. A. f. Ph. **4.** 1913/14. S. 161.

17. Pulfrich, C., „Über den von der Firma Carl Zeiß in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser", Vortrag auf der Naturforscherversammlung in München, am 19. Sept. 1899. Physikalische Zeitschrift. **1.** 1899. S. 98.

18. Pulfrich, C., „Über einen für astronomische, photogrammetrische, metronomische und andere Zwecke bestimmten stereoskopischen Komparator", Vortrag auf der Naturforscherversammlung in Hamburg, am 23. Sept. 1901; ref. Naturwissenschaftliche Rundschau. **16.** 1901. S. 589.

19. Pulfrich, C., „Über einen Versuch zur praktischen Erprobung der Stereo-Photogrammetrie für die Zwecke der Topographie". Zeitschrift für Instrumentenkunde. **23.** S. 317. 1903.

20. Pulfrich, C., „Stereoskopisches Sehen und Messen", Jena, 1911 (mit ausführlichem Schriftenverzeichnis der von 1900—1911 erschienenen Arbeiten über Stereoskopie und Stereophotogrammetrie).

21. Pulfrich, C., „Neue stereoskopische Methoden und Apparate". Berlin. 1912.

22. v. Rohr, M., „Die binokularen Instrumente", Berlin, 1907 (mit ausführlichem Schriftenverzeichnis der einschlägigen Arbeiten des 19. Jahrhunderts.)

23. Scheimpflug, Th., „Die Flugtechnik im Dienste des Vermessungswesens", Buch des Fluges von H. Hoernes. Wien. 1911. **1.** S. 604.

24. Thompson, V., „Stereo-Photo-Surveying". The Geographical Journal. London. **31.** 1908. S. 534.

25. Truck, S., „Die Bedeutung und Anwendung der Stereophotogrammetrie als Vermessungsmethode in der Ingenieurpraxis". I. A. f. Ph. **4.** 1913/14. S. 93.

26. Zaar, K., „Ein photogrammetrischer Auftragapparat". I. A. f. Ph. **4.** 1913/14. S. 200.

27. Zeiss, C., „Vorrichtung zum Kopieren der aus einem Photostereogramm zu entnehmenden Oberfläche eines räumlichen Gebildes....." D. R. P. 262 499, vom 20. Dezember 1910; D. R. P. 281 369, vom 25. Dezember 1913; D. R. P. 301 269, vom 24. Juni 1916; D. R. P. 301 289, vom 26. Mai 1914; D. R. P. 312973, vom 7. Juli 1914; D. R. P. 313261, vom 9. Juli 1919.

Neue Form einer Kupplung für Fernrohr-Triebwerke mit unmittelbarem elektromotorischen Antrieb.

Von

Dr. J. Rheden in Wien.

An zwei Stellen dieser Zeitschrift (1912, S. 185—190 und 1919, S. 273—280) habe ich die Einrichtungen beschrieben, die am Triebwerk des photographischen Refraktors der Wiener Sternwarte angebracht wurden, um es unmittelbar durch einen Elektromotor, also ohne jedes Gewicht zu treiben. Die zur Übertragung des Antriebes dienende Kupplung hat hier eine von den gewöhnlichen Reibungskupplungen bedeutend abweichende Form. Als besonders vorteilhaft für die verläßliche Wirkung der Kupplung erwies sich deren ununterbrochene Schmierung, die dadurch erreicht wird, daß der Reibungsmechanismus teilweise in ein Gefäß mit Petroleum taucht. Hingegen wurde die bekannte Eigenschaft des Petroleums, sich im Laufe der Zeit über große Flächen auszubreiten, etwas unangenehm empfunden. Dieses sogenannte „Kriechen" des Petroleums wird bei der horizontal gelagerten Kupplung noch dadurch begünstigt, daß das tauchende Zahnrad wie ein Schöpfrad wirkt und beträchtliche Mengen der Flüssigkeit an den eingreifenden Trieb abgibt, von wo aus sie sich dann leicht auf die anderen Teile des Triebwerkes verbreitet. Diese Eigenschaft des Petroleums kann schädlich werden, wenn dieses zu Riemenübertragungen gelangt, wo es die Reibung zwischen Riemen und Rad vermindern kann. Da beim Wiener photographischen Refraktor solche Riemenübertragungen vorhanden sind, stellte sich die Aufgabe, für die Kupplung eine Form zu finden, die vor allem das Heraus-

heben des Petroleums aus dem Gefäß vermeidet und auch sonst dessen Ausbreitung möglichst verhindert. Dies ist möglich, wenn man die eigentliche Kupplung vom Zahnradgetriebe trennt, ferner, indem man die Achse der Kupplung vertikal stellt und den Reibungsmechanismus in ein Gefäß mit Petroleum tauchen läßt. So wird das Kriechen dieses Öles auf ein ganz unschädliches Maß gebracht, das nicht höher ist, als man es bei jeder Petroleumlampe beobachten kann.

Die neue Form der Kupplung sei im folgenden kurz beschrieben.

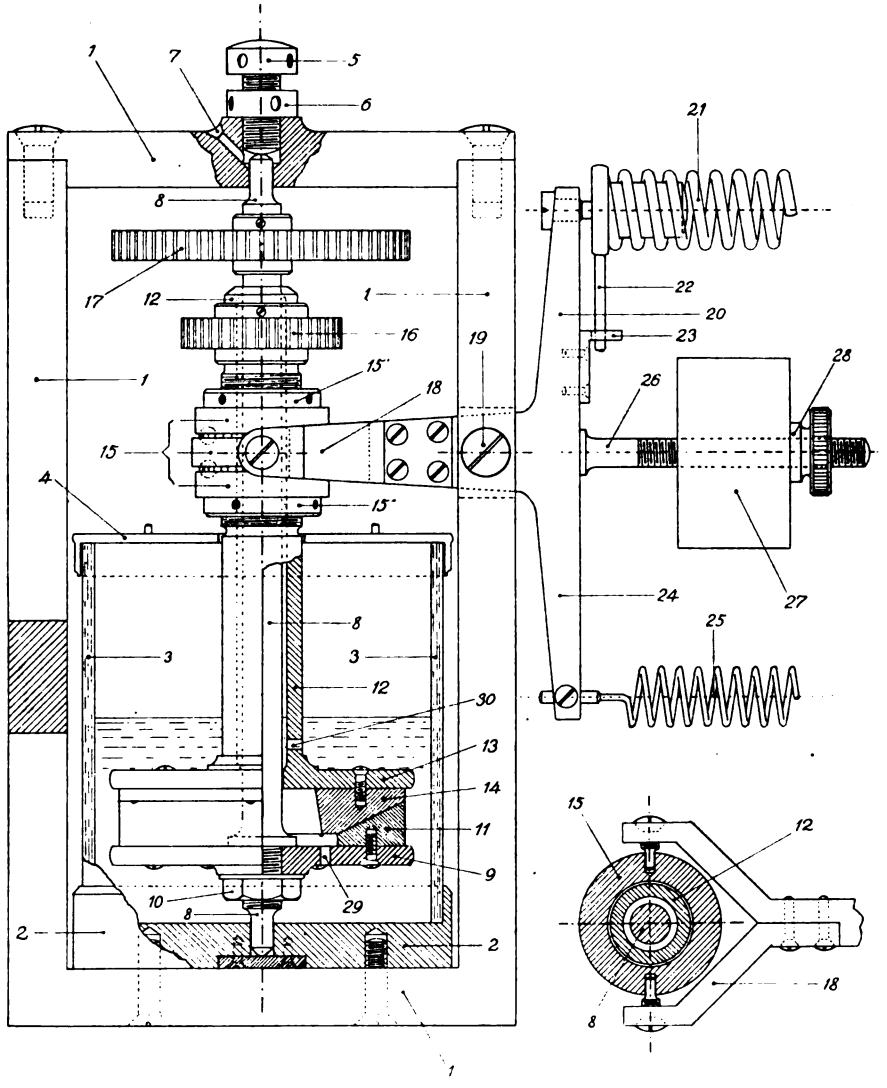


Fig. 1.

Fig. 2.

In Figur 1 stellt *1—1—1—1* einen massiven Metallrahmen dar, dessen oberer Teil abnehmbar ist. Auf dem unteren Teil dieses Rahmens ist der gleichfalls aus Metall gefertigte Boden *2—2* eines Gefäßes fest angeschraubt, in den ein Glaszylinder *3—3* eingekittet ist. Der obere Abschluß dieses Gefäßes wird durch einen Deckel *4* hergestellt, der aus zwei ineinander einhängbaren Hälften besteht und eine entsprechende Öffnung für die Welle der Kupplung besitzt. Der Boden des Gefäßes hat in der Mitte eine Bohrung, die nach außen durch ein eingekittetes

und verschraubtes glashartes Stahlplättchen dicht abgeschlossen ist. Diese Bohrung bildet das untere Lager der Kupplung; das zweite Lager liegt im oberen Rahmenstück. Der Spielraum der Kupplung in axialer Richtung wird durch eine Stellschraube *5* mit der Gegenmutter *6* genau begrenzt. In den hier entstehenden Hohlraum wird das Schmiermittel durch die Öffnung *7* eingebracht.

Die Kupplung selbst besteht aus der Welle *8—8—8*, an deren unterem Ende die Scheibe *9* mit Hilfe der Mutter *10* fest aufgeschraubt und laufend abgedreht ist. Die Scheibe *9* trägt den Schleifring *11*, dessen Reibungsfläche konisch vertieft ist. Die Achse *8* wird von einem Rohrstück *12—12* umschlossen, das am unteren Ende die Scheibe *13* mit dem Gegenschleifring *14* trägt. Der über das Gefäß herausragende Teil des Rohrstückes *12* trägt, auf einem Gewinde laufend, das Doppelkugellager *15*, das durch die Gegenmuttern *15'* und *15''* einmal in Höhe verstellbar ist und dessen Lagerdeckel ferner auf die gleiche Weise genau eingestellt werden können. Am oberen Rande des Rohres *12* ist ein gewöhnliches Zahnrad *16* befestigt; ein ähnliches von größerer Abmessung, *17*, sitzt auch auf der Welle *8*. Zum Zwecke der Druckübertragung ist im Mittelring des Kugellagers mittels eingeschraubter Stifte das gabelförmige Ende *18* eines vierarmigen Hebels eingehängt, der seinen Drehungspunkt bei *19* im Rahmen *1* hat. Die anderen drei Hebelarme liegen außerhalb des Rahmens und zwar ist der obere, *20*, mit der Druckfeder *21* in Verbindung (diese entspricht der Feder *19* in der Figur auf S. 274 des Jahrganges *1919* dieser Zeitschrift und ist genau wie diese ausgebildet). Um eine Drehung der Druckfeder zu verhindern, ist in deren Fassung ein Stift *22* eingeschraubt, der durch die Gabel *23* festgehalten wird. Im unteren Hebelarm *24* ist die Zug- und Druckfeder *25* (die der Feder *23* der oben erwähnten Figur entspricht), fest verschraubt. Den vierten Hebelarm bildet der mit einem Gewinde versehene Dorn *26*, auf dem sich das Laufgewicht *27* verstellen und mit Hilfe der geänderten Gegenmutter *28* klemmen läßt. Dieses Gegengewicht dient zur vollständigen Entlastung der Kupplung.

Fig. 2 stellt einen Schnitt durch die Mitte des Kugellagers *15* dar; die Gabel *18* ist zur leichteren Einführung zerlegbar gemacht.

Das Gefäß *2—2—3—3* wird mit Petroleum gefüllt. Die Durchspülung der Kupplung wird durch die in der Scheibe *9* und im Rohrstück *12* angebrachten Öffnungen *29* und *30* sowie durch Rinnen im unteren Schleifring gefördert. Zur gelegentlich notwendigen Entfernung des Petroleums dient eine am Boden des Gefäßes gedachte gut verschraubbare Öffnung. Es steht nichts im Wege, an diese ein nach oben gebogenes und trichterförmig endendes Rohrstück anzusetzen, sodaß man die Höhe des Flüssigkeitspiegels im Gefäß leicht regeln kann, ohne dieses selbst öffnen zu müssen. Zum Zwecke der Entleerung muß dieses Rohr an seiner tiefsten Stelle eine gut verschließbare Öffnung besitzen.

Den Antrieb erhält die Kupplung am Zahnrad *17* im Wege eines nach Bedarf gestalteten Vorgeleges; durch eben ein solches wird vom Zahnrad *16* aus die Bewegung auf den Regulator übertragen. Die regelnden Teile des Antriebes und der Kupplung sind die gleichen, wie sie bereits im Jahrgang 1919 dieser Zeitschrift ausführlich beschrieben sind; Abweichungen davon beziehen sich lediglich auf die Anordnung.

Es ist beabsichtigt, diese neue Form der Kupplung in das Triebwerk des Wiener photographischen Refraktors einzubauen, sobald die Mittel dazu zur Verfügung stehen werden.

Ein hochempfindliches astatisches Torsionsmagnetometer.

Von

Dr. **R. Dieterle** in Charlottenburg.

Ein Torsionsmagnetometer besteht bekanntlich aus einer kleinen, leicht beweglich aufgehängten Magnetnadel. Die durch ein magnetisches Feld hervorgerufene Ablenkung der Nadel aus der Ruhelage wird mit Spiegel und Skala gemessen. Dieses bei magnetischen Untersuchungen früher sehr oft verwendete Meßinstrument hat den Nachteil, daß es durch elektromagnetische Störungen aller Art, also z. B. durch elektrische Zentralen und Straßenbahnen, beeinflußt wird und deshalb an vielen Orten für feinere Messungen nicht mehr in Betracht kommen kann. Jede andere Methode zur exakten Untersuchung ferromagnetischen Materials besitzt eben für gewisse Zwecke solche Nachteile, daß das Magnetometer nicht vermißt werden kann.

Nun haben F. Kohlrausch und L. Holborn[1]) im Jahre 1903 ein störungsfreies Instrument gebaut, indem sie zwei Magnete an einer vertikalen, 2 m langen Stange astatisch, d. h. mit entgegengesetzt gerichteten magnetischen Achsen, angebracht haben. Alle Störungen, die in diesem Abstand gleichförmig verlaufen, wirken daher am Gehänge mit zwei gleichgroßen, entgegengesetzt gerichteten Drehmomenten; dadurch bleibt das Instrument in Ruhe. In der Horizontalebene des einen Magneten wird in etwa 1 m Entfernung der Versuchskörper aufgestellt, so daß sein Feld fast nur auf diesen Magneten einwirkt und daher das ganze System entsprechend ablenkt. Das rücktreibende Moment des Systems ist hier nur durch seine Direktionskraft und nicht durch das magnetische Feld der Erde bedingt. Für einen kleinen Ausschlag α, den ein ablenkendes Feld F an diesem Magnetometer hervorbringt, gilt die Formel

$$F = C \cdot \alpha.$$

Die Konstante C ist das Verhältnis der Direktionskraft des Aufhängefadens zum magnetischen Moment des Magnets. Dasselbe Feld F ruft also einen um so größeren Ausschlag hervor, je größer das magnetische Moment und je kleiner die Direktionskraft ist.

Das obengenannte Instrument besitzt 60 mm lange und 7 mm starke Magnete, daher ist die Korrektion für die Länge der Magnete groß. Kleinere Magnete erwiesen sich als zu schwach, wie Versuche bei einem ähnlichen Instrument[2]) zeigten. Der Bau des Instruments erfordert ziemlich viel Kosten und Arbeit, insbesondere muß sich der untere Magnet genau senkrecht unter dem Aufhängepunkt drehen, weil auf ihn der ablenkende Körper einwirkt und sein Abstand mit der dritten Potenz in die Rechnung eingeht. Diese Schwierigkeit ist bei einem zweiten Instrument vermieden[3]), weil der obere als Hauptmagnet benutzt wird; außerdem ist es auch transportabel. Die Empfindlichkeit dieser Instrumente ist der des gewöhnlichen Magnetometers ähnlich.

Durch Verwendung von kleinen, aber verhältnismäßig starken Magnetchen, die an einem ganz leichten Gehäuse angebracht wurden, das von einem Quarzfaden getragen werden konnte, gelang es mir, die Empfindlichkeit auf ein Vielfaches zu

[1]) F. Kohlrausch und L. Holborn, *Ann. d. Physik* **10**. *S. 287. 1903* und *diese Zeitschr.* **23**. *S. 257. 1903.*

[2]) A. Semm, Inaug.-Diss. Marburg 1915.

[3]) F. Kohlrausch und L. Holborn, *Ann. d. Physik* **13**. *S. 1054. 1904* und *diese Zeitschr.* **24**. *S. 223. 1904.*

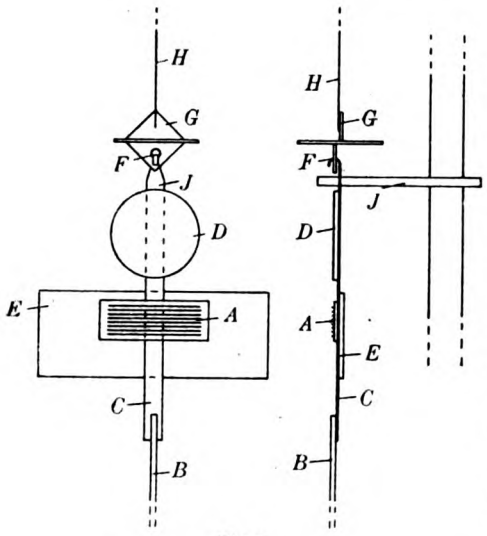


Fig. 1.

steigern. Im folgenden soll die endgültige Form des Instruments, die sich an den an anderer Stelle veröffentlichten Vorversuchen[1]) ergab, mit Hilfe zweier Figuren beschrieben werden.

Die Magnetchen stellte ich aus Uhrfederstahl vom Querschnitt $0{,}15 \times 0{,}3$ mm² nach dem üblichen Verfahren her[2]), ihre Länge betrug 8,8 mm. Von etwa 100 solchen Nadeln wurden die am besten gelungenen ausgewählt, je 8 Stück derselben parallel und in gleichen Abständen mit Schellack auf ein Glimmerscheibchen *A* (Fig. 1) aufgeklebt und diese Systeme je einen Tag zwischen die Pole zweier starker Stahlmagnete gelegt. Dann wurden sie einige Wochen gelagert, hierauf die zwei stärksten benutzt; durch geringe Verdrehung ihrer Ebenen gegeneinander konnte die Astasierung und damit die Störungsfreiheit erreicht werden.

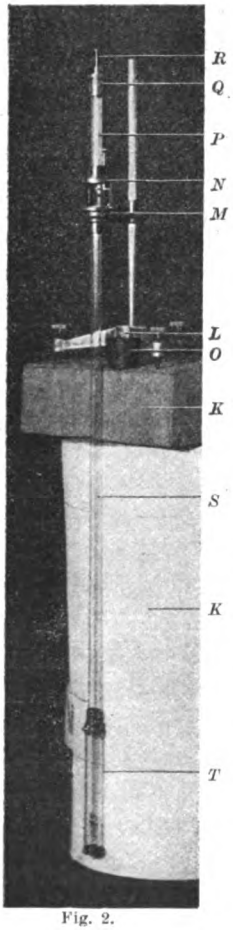


Fig. 2.

Als starre Verbindung der zwei Magnetsysteme benutzte ich zuletzt ein elastisch biegsames Material, nämlich ein gerades, 0,35 mm feines Glasstäbchen *B* von 107 cm Länge. Ein größerer Abstand konnte wegen der großen Ungleichförmigkeit der Störungen am Versuchsort nicht gewählt werden. Dieses Stäbchen *B* klebte ich an ein schmales und dünnes Aluminiumplättchen *C*, an dieses das eine Magnetsystem *A*, das als Hauptsystem verwendet wird, und den Spiegel *D*, auf die Rückseite die Glimmerscheibe *E*, die als Luftdämpfung dient; das Plättchen *C* hängt mit einer feinen Zunge in dem Loch *F* eines horizontal liegenden Aluminiumscheibchens *G*, das zwei nach abwärts bzw. aufwärts gebogene Teile besitzt. An dem letzteren ist der am Torsionskopf hängende 17 cm lange Quarzfaden *H* angeklebt. Am unteren Ende des Stäbchens *B* befindet sich das zweite Magnetsystem und eine größere Glimmerscheibe als Dämpfer. Das Scheibchen *G* gestattet die bequeme Abnahme des Gehänges vom Aufhängefaden *H*; es dient zugleich zur Arretierung, die durch eine vertikal bewegliche Messinggabel *J* von geeigneter Form bewirkt wird.

Dieses Gehänge befindet sich in einem Gehäuse aus eisenfreiem Messing und Glas. Figur 2 zeigt dasselbe mit einem Versuchsgehänge. Bei der Herstellung wurde auf leichte Zerlegbarkeit Wert gelegt. Auf einer etwa 120 cm hohen Steinsäule *K* ist das schwere, mit 3 Stellschrauben versehene Stativ *L* aufgestellt, dessen Arm *M* vertikal verschiebbar ist. Auf diesen Arm ist ein

[1]) R. Dieterle, *Ann. d. Physik* **59**. *S. 343. 1919.*

[2]) V. Stroukal und C. Barus, *Wied. Ann.* **20**. *S. 662. 1883* und *Elektrotechn. Zeitschr.* **12**. *S. 558. 1891*; F. Paschen, *diese Zeitschr.* **13**. *S. 14. 1893* und *Wied. Ann.* **48**. *S. 281. 1893*; W. W. Coblentz, *Bull. of the Bur. of Stand.* **4**. *S. 428. 1907/08.*

Gehäuse N aufgeschraubt, das zur Aufnahme des oberen Magnetsystems, des Spiegels, der Arretierung, des einen Dämpfers und der Aufhängevorrichtung dient, also der in Figur 1 skizzierten Anordnung. Der in der Höhe des Spiegels mit einem Fenster versehene Gehäusemantel O ist zur besseren Einsicht abgenommen. An dieses Gehäuse ist oben die Glasröhre P mittels einer Fassung angeschraubt, sie wird durch den Torsionskopf Q abgeschlossen, der einen vertikal verschiebbaren Stift R trägt, an dem der Aufhängefaden H (Fig. 1) festgemacht ist. An den Arm M ist nach abwärts die Glasröhre S angeschraubt, die das Glasstäbchen B (Fig. 1) umschließt. An diese ist eine weitere Röhre T angesetzt, die mit Hilfe eines Bajonettverschlusses leicht abgenommen werden kann, sie umschließt das untere Magnetsystem und die zweite Glimmerscheibe zum Dämpfen. Hier und am Gehäuse N sind bei Aufnahme der Photographie noch nicht vorhandene Thermometer angebracht, welche die Temperatur an den Systemen abzulesen gestatten. Die Temperaturdifferenz war sehr gering und blieb konstant. Der Abstand der Mitten der Magnetsysteme betrug 105,4 cm.

In der folgenden Tabelle werden die vier bis jetzt bekannten astastischen Torsionsmagnetometer ähnlicher Bauart miteinander verglichen, dabei bedeutet I das nicht transportable und II das transportable von F. Kohlrausch und L. Holborn, III das fest aufgestellte von A. Semm und IV das eben beschriebene transportable Instrument.

Tabelle.

Instrument	Konstante	Dämpfungsverhältnis	Ruhelage nach Sek. bei 500 mm Ausschlag	Magnet-		Aufhängung		Magnetabstand
				länge	querschnitt	Material	Länge	
I	0,292	9	20	6	0,385	Platiniridium	135	192,3
II	0,190	—	—	6	0,385	Platiniridium	52	126,0
III	0,265	3,3	45—60	5,5	0,385	Platiniridium	—	187,6
IV	0,040	5,2	35	0,88	0,0036	Quarz	17	105,4

Die Längen und Querschnitte sind hierbei in cm bzw. cm^2 angegeben.

Das Gehänge meines Magnetometers wiegt nur etwa 0,4 g. Es läßt sich aber ein noch leichteres Gehänge herstellen, so daß die Empfindlichkeit bei Verwendung eines entsprechend feinen Quarzfadens als Aufhängung so weit gesteigert werden kann, wie es die magnetischen Verhältnisse am Versuchsort zulassen. Die Eichung des Instruments, d. h. die Bestimmung seiner Konstanten C, die der Empfindlichkeit umgekehrt proportional ist, geschieht am bequemsten mit Hilfe einer stromdurchflossenen Spule von genau bekannter Windungsfläche.

Infolge seiner großen Empfindlichkeit eignet sich das Instrument vorzüglich zu Messungen der Anfangspermeabilität und zur Feststellung von kleinen magnetischen Intensitätsänderungen. Infolge seiner kleinen Magnetchen kann aber auch der ablenkende Körper selbst und sein Abstand vom System klein sein, so daß es auch noch zur Untersuchung von solchen Körpern geeignet ist, die in größeren Stücken nicht hergestellt werden können oder die nur schwache Magnetisierbarkeit besitzen.

Mit diesem Instrument habe ich Untersuchungen über stufenweise Magnetiserung und über den Einfluß von Vanadium auf die Magnetisierbarkeit von Eisen angestellt[1]), bei diesen Messungen hat es sich aufs beste bewährt.

[1]) R. Dieterle, *Ann. d. Physik* **59**. *S. 363—392. 1919.*

Referate.

Das Grundgesetz für die treue photographische Wiedergabe von Kontrasten.

Von F. F. Renwick. *Philos. Mag.* ***31.*** *S. 633. 1919.*

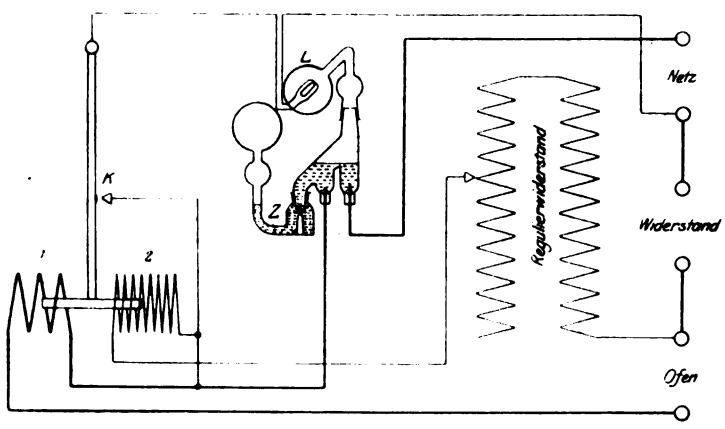
A. W. Porter und R. E. Slade hatten einige Einwendungen gegen die von Hurter und Driffield aufgestellten Grundsätze über die Herstellung photographischer Negative und Positive gemacht. Der Verf. rügt auch, daß sie dabei nicht nur einige Schreibfehler gemacht, sondern hauptsächlich übersehen hätten, daß die Abszissen der Schwärzungen in Negativen und Positiven nicht Logarithmen der Lichtstärcke allein sind, sondern Logarithmen des Produktes von Lichtstärke und Expositionszeit und daß letztere für Negative und Positive gewöhnlich verschieden seien. — Gegen den wesentlich polemischen Inhalt der Veröffentlichung verteidigen sich Porter und Slade in einer Erwiderung. *H. Krüss.*

Über eine neue, selbsttätige Temperaturregelung für elektrische Öfen.

Von Dr. Ernst Haagn. *Elektrotechn. Zeitschr.* ***40.*** *S. 670—672. 1919.*

Das hier beschriebene Verfahren zur Konstanthaltung der Temperatur, welches im elektrischen Laboratorium der Firma W. C. Heraeus in Hanau ausgebildet und erprobt wurde, beruht darauf, daß an den elektrischen Ofen, der mit 2—30 A Gleichstrom geheizt wird, ohne Vorschaltwiderstand eine Gleichstromspannung von 110 oder 220 V abwechselnd angelegt und abgeschaltet wird. Diese Einrichtung, welche neben rascher Einstellung einer gewünschten Temperatur und deren Aufrechterhaltung auch bei Spannungsschwankungen den großen Vorzug hat, daß kein nutzloser Energieverbrauch stattfindet, wie er bei der üblichen Regulierung eines Gleichstroms unvermeidlich ist, bedarf eines besonderen Regelwerkes, durch das in rascher Folge der Strom während gewisser Zeitabschnitte (deren Länge von der zu erreichenden Temperatur und der vorhandenen Spannung abhängen) ein und ausgeschaltet wird. Die Regelung spricht auf die Veränderung des Heizwiderstandes im Ofen an. Sie wirkt also um so besser, je größer der Temperaturkoeffizient der Heizspule ist. In erster Linie ist sie für Öfen mit Heizspulen aus Platinband gedacht, dessen Temperaturkoeffizient 0,4 % für 1 Grad beträgt.

Die schematische Anordnung ist aus der Figur ersichtlich. Mit Hilfe eines Anlaßwiderstandes, der verhindern soll, daß die Heizspule anfänglich zu stark belastet wird, wird der Ofen zunächst annährend auf die gewünschte Temperatur gebracht. Der Strom fließt durch die mit dem Ofen in Serie geschaltete Stromspule 1 und durch die parallel zum Ofen liegende Spannungsspule 2. In der Achse dieser beiden Spulen, deren Magnetfelder durch einen Regulierwiderstand im Zweig der Spannungsspule gegenseitig abgeglichen werden, ist ein Eisenröhrchen an einem Pendel beweglich angeordnet. Bei einer bestimmten Ofentemperatur und einem bestimmten Widerstand der Heizspule unterliegt das Eisenröhrchen weder einer Anziehung nach rechts noch nach links. Bei niedrigerer Temperatur überwiegt das Magnetfeld in Spule 1, bei höherer Temperatur dasjenige in Spule 2. In letzterem Fall wird das Pendel nach rechts gezogen und der Kontakt K geschlossen. Dadurch wird ein Teil des Heizstromes durch eine 5-kerzige Kohlenfadenlampe L geführt. Diese ist mit Gas „gefüllt, das lichtbogenlöschend wirkt“ und kommuniziert durch einen porösen Stopfen mit einem Gefäß, das Quecksilber enthält. Bei Schaltung des Kontaktes K wird dies Quecksilber durch ein Ventil Z in eine zweite mit Gas gefüllte Kugel getrieben und der Hauptstrom unterbrochen, der dem aus Quarzglas bestehenden Quecksilberausschalter durch zwei Nickelstahlschliffe zugeführt wird. Das Ventil Z besteht aus



einem Stahlplättchen, das mit einem feinen Loch versehen ist. Bei Einschalten der Glühlampe wird durch den entstehenden Druck das Stahlplättchen von der Öffnung fortgedrückt und dem Quecksilber der Weg freigegeben. Verlöscht die Lampe, und wird bei Abkühlung des Gases nun ein Druckausgleich in entgegengesetzter Seite angestrebt, so legt sich das Stahlplättchen vor die Öffnung und das Quecksilber kann nun langsam durch das feine Loch zurücktreten. Der Strom bleibt also eine gewisse Zeit, die durch die Größe dieser Bohrung bestimmt ist, ausgeschaltet. Für mittlere Öfen von 1 bis 2 KW hat sich eine Ausschaltzeit von 10 Sekunden als praktisch erwiesen. Während dieser sinkt die Ofentemperatur etwas unter den angestrebten Wert. Nach Schließung des Stromes steigt sie wieder und das Spiel beginnt mit dem Ausgleich der Magnetfelder in den Spulen 1 und 2 von Neuem.

Die Versuche haben ergeben, daß mit der beschriebenen Vorrichtung die Schwankungen der Ofentemperatur leicht unter 1° gehalten werden können. *Henning.*

Über die Abhängigkeit des Temperaturkoeffizienten permanenter Magnete von deren Gestalt.

Von E. Gumlich. *Ann. d. Physik,* **59.** *S. 668. 1919.*

Für die Brauchbarkeit aller elektromagnetischen Meßinstrumente (Zähler, Drehspul-Amperemeter usf.) ist Voraussetzung, daß das Moment ihrer Magnete zeitlich unverändert bleibt und somit in möglichst geringem Grade von der Temperatur abhängt. Die Kenntnis des Temperaturkoeffizienten der Magnete, das ist der reversiblen prozentischen Aenderung ihres Momentes für 1° C., hat deshalb neben ihrer theoretischen auch eine eminent praktische Bedeutung. Diese reversible Aenderung des Magnetismus mit der Temperatur ist wohl zu unterscheiden von der dauernden Abnahme, die man nach der Erwärmung beobachtet und die durch wiederholte Erwärmung und Wiederabkühlung (künstliche Alterung) zum Verschwinden gebracht werden kann. Bei Magneten aus reinen Eisen-Kohlenstoff-Legierungen nimmt der Temperaturkoeffizient mit wachsendem Gehalt an gelöstem Kohlenstoff ab (s. Wiss. Abhdlg. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt, **4.** Heft 3, 1918). Wie sich diese Abhängigkeit bei Magneten aus legierten Stählen (Wolfram-, Chrom-, Molybdänstahl) gestaltet, soll Aufgabe einer zukünftigen Untersuchung sein. Im allgemeinen ist er negativ und liegt bei den gebräuchlichen Materialien zwischen 2 bis $6 \cdot 10^{-4}$. In vorliegender Arbeit handelt es sich dagegen um die Klärung der Abhängigkeit des Temperaturkoeffizienten permanenter Magnete von ihrer Gestalt.

Die Messungen erfolgten durch Beobachtung der Ablenkungen eines Magnetometers durch den in der ersten Gaußschen Hauptlage befindlichen Magneten, der sich entweder auf Zimmertemperatur befand oder in einem Oelbade auf 100° erwärmt wurde. Die Empfindlichkeit des Magnetometers wurde, wenn nötig, mittels einer stromdurchflossenen Spule kontrolliert. Untersucht wurde zunächst ein Stab von 22 cm Länge und 0,6 cm Durchmesser mit 0,72% Kohlenstoff und 3,26% Chrom, der bei 850° gehärtet wurde; er hatte eine Koerzitivkraft von 52 Gauß und eine Remanenz von 11 000. Aus diesem wurden durch Zersägen Stäbe von 14,6 und 7,4 cm Länge und aus letzterem von 4,8 und 2,4 cm Länge hergestellt; das Dimensionsverhältnis Länge und Durchmesser nahm also von 37 bis 4 ab. Der

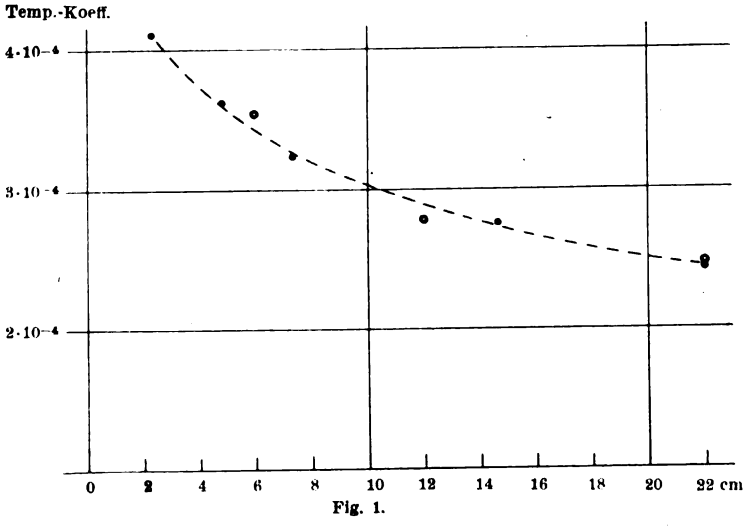


Fig. 1.

Temperaturkoeffizient ergab sich zu 2,4 bis $4{,}2 \cdot 10^{-4}$, nahm also mit abnehmendem Dimensionsverhältnis um 75% zu. Die einzelnen Meßpunkte liegen, wie aus Fig. 1 folgt, auf einer ziemlich glatten Kurve.

Man könnte nun zunächst vermuten, daß die Aenderung des magnetischen Momentes mit der Temperatur durch eine Aenderung des Polabstandes bedingt sei, da die Induktionslinien in einem Stabe ungleichmäßig verlaufen und die Permeabilität eine Funktion der Temperatur ist. Dann müßte aber bei Ellipsoiden, bei welchen — homogenes Material vorausgesetzt — die Magnetisierung gleichmäßig und unabhängig von der Größe der Induktion ist und infolgedessen keine Verschiebung der Pole auftreten kann, die Aenderung des Temperaturkoeffizienten den Wert Null haben. Um diese Folgerung zu prüfen, wurden auch Messungen an vier Ellipsoiden aus dem gleichen Material von 22; 12; 6 und 2,4 cm Länge und 0,6 cm Dicke angestellt. Wie man nun aus Fig. 1 ersieht, tritt aber auch bei diesen ein Temperaturkoeffizient auf, dessen Werte (mit Ausnahme des kleinsten Ellipsoides) innerhalb der Beobachtungsfehler mit den bei den Stäben gefundenen übereinstimmen. Damit dürfte die obige Annahme widerlegt sein. Der Sicherheit halber wurden aber auch noch die Polabstände der Magnete im kalten und warmen Zustande durch Beobachtung der Magnetometer-Ausschläge für zwei verschiedene Entfernungen der Magnete bestimmt. Dabei ergaben sich folgende Werte:

		kalt	warm
Ellipsoid	22 cm lang	$0{,}75_7$	$0{,}75_4$
Stab	14,6 „ „	$0{,}77_2$	$0{,}81_9$
Stab	16 „ „	$0{,}84_6$	$0{,}86_0$

(der 16 cm lange Stab bestand aus einem 0,5% Kohlenstoffstahl und hatte gleichfalls einen Durchmesser von 0,6 cm).

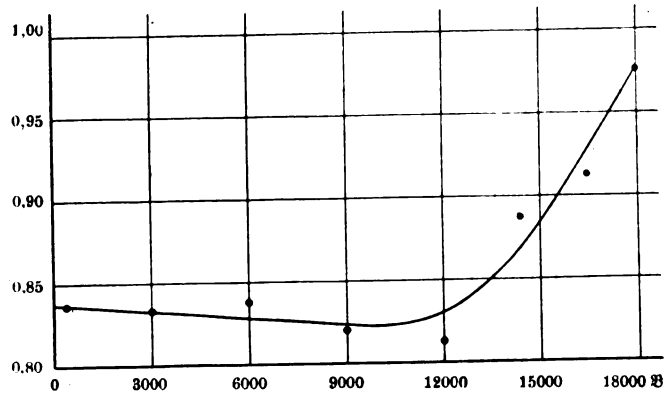


Fig. 2.

Der Polabstand war also beim Ellipsoid innerhalb der Versuchsfehler unabhängig von der Temperatur, während bei den Stäben eine Aenderung um 2%, bzw. 6% auftrat. Auch sie gibt aber durchaus keine Erklärung für die Existenz des Temperaturkoeffizienten, da sie gerade im umgekehrten Sinne verläuft (denn der Polabstand nimmt mit wachsender Temperatur zu, während das magnetische Moment abnimmt).

Im Anschluß daran werden einige frühere Versuche über die Abhängigkeit des Polabstandes von der Höhe der Magnetisierung an einem Flußstahlstab von 33 cm Länge und 0,6 cm Durchmesser erwähnt, die in Fig. 2 wiedergegeben sind. Aus dieser folgt, daß der Polabstand mit wachsender Induktion bis zur maximalen Permeabilität zuerst etwas abnimmt, dann aber ziemlich erheblich ansteigt, so daß in der Nähe der Sättigung ($\mathfrak{B} = 18\,000$) die Pole fast mit den Stabenden zusammenfallen. Die Magnetisierung wird also um so gleichmäßiger, je geringer die Permeabilität ist. Da nun auch, wie aus den nachfolgenden Beobachtungen an einem geschlossenen Ringe hervorgeht, die Permeabilität mit steigender Temperatur abnimmt, so muß mit dieser auch der Polabstand wachsen, was mit den Versuchsergebnissen übereinstimmt.

Der zu den Versuchen benutzte Ring hatte einen äußeren Durchmesser von 7,8 cm und einen inneren von 6,5 cm bei einem Querschnitt von 1,33 cm; er bestand aus demselben Chromstahl wie die Stäbe und Ellipsoide und wurde nach der ballistischen Methode untersucht. Aus Fig. 3 ersieht man, daß die Hysteresisschleife im warmen Zustande merklich unter der im kalten Zustande liegt. Aus dieser kann man die Remanenz R der aus demselben Material hergestellten Ellipsoide mit Hilfe der Gleichung $R = -N \cdot J = -N \cdot \mathfrak{B}/(4\pi - N)$ bestimmen, in welcher J die Intensität der Magnetisierung, $\mathfrak{B}$ die magnetische Induktion und N der von dem Dimensions-

verhältnis der Ellipsoide abhängige Entmagnetisierungsfaktor ist. Die aus der Fig 3 auf graphischem Wege ermittelten Werte sind:

Länge des Ellipsoides	R_{kalt}	R_{warm}	Diff.	α_R'
22,0	9010	8735	275	$3{,}9_6 \cdot 10^{-4}$
12,0	5895	5675	220	$4{,}8_4$ „
10,0	2380	2290	90	$4{,}9_1$ „
2,4	790	755	35	$5{,}7_5$ „

Die Differenz $R_{kalt} - R_{warm}$ nimmt also mit abnehmendem Dimensionsverhältnis ab, dagegen wächst die prozentuale Aenderung und der damit proportionale Temperaturkoeffizient α_R' in Übereinstimmung mit den vorhergehenden direkten Beobachtungen. Es ergibt sich also eine sehr gute qualitative Uebereinstimmung, dagegen sind die aus den Ringbeobachtungen rechnerisch gewonnenen Werte um 50% größer als die an den Ellipsoiden beobachteten. Der Hauptgrund dafür dürfte darin liegen, daß es bei dem Ringe nicht möglich war, die irreversiblen Aenderungen völlig auszuschließen.

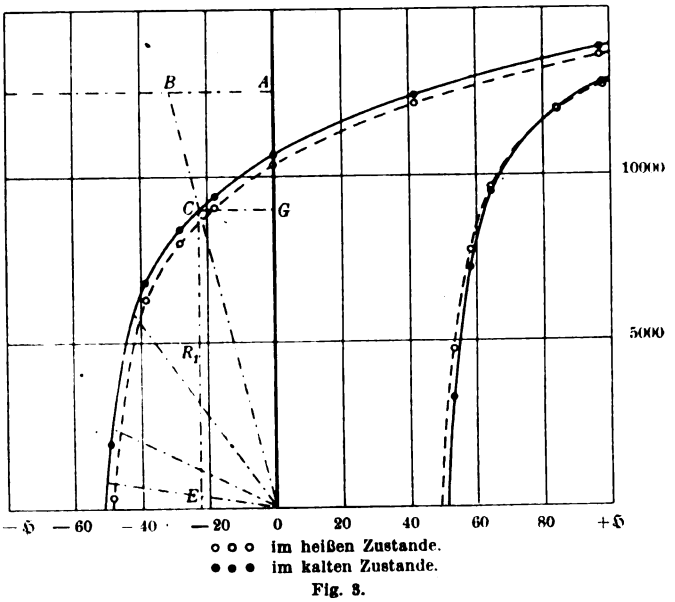


Fig. 3.

Versuche mit dem Stabe aus 0,5% Kohlenstoffstahl bei wachsender und abnehmender Temperatur ergaben die in Fig. 4 dargestellten Magnetometerausschläge (Kurve $ABCDE$). Daß der Punkt E nicht völlig mit A zusammenfällt, rührt von der nicht vollkommen gelungenen Alterung her. Bringt man die hierdurch bedingten Korrektionen an, so erhält man die gestrichelte Kurve $AFGHA$; aus dieser folgt, daß der Temperaturkoeffizient mit steigender Temperatur etwas zunimmt und daß auch bei zyklischer Erwärmung teilweise irreversible Vorgänge auftreten.

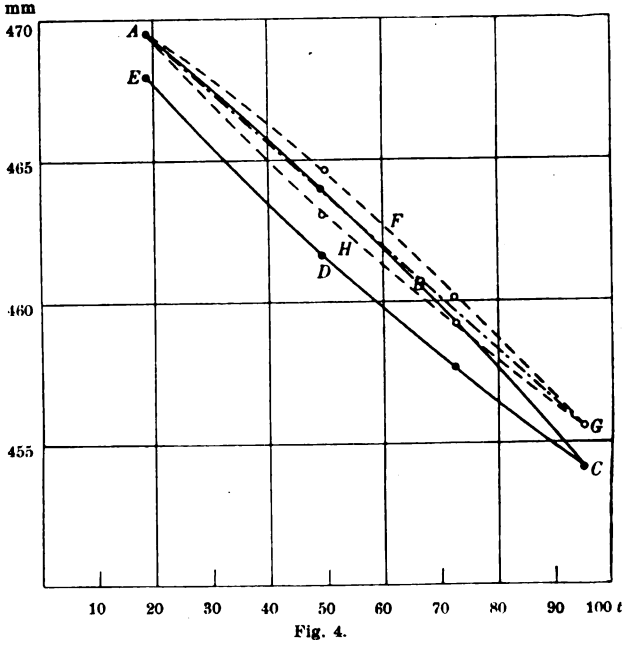


Fig. 4.

Das Ergebnis, daß der Temperaturkoeffizient mit abnehmendem Dimensionsverhältnis wächst, läßt sich sinngemäß auch auf Hufeisenmagnete übertragen, indem man einen gut geschlossenen (bei welchem der Polabstand eng ist) als analog einem langen Stabe mit großem Dimensionsverhältnis auffaßt. Es müssen also gut geschlossene Hufeisenmagnete einen kleineren Temperaturkoeffizienten haben als solche mit großer Maulweite. Diese Folgerung wurde an vier Magneten aus Streifen von $23 \times 1{,}6 \times 0{,}8$ cm³ aus einem Stahl mit 1,5% Kohlenstoff und 3% Chrom von verschiedenen

Formen bestätigt gefunden. Außerdem erwies sich der Temperaturkoeffizient bei kleinerer Magnetisierung etwas geringer als bei hoher, doch ist der Unterschied für die Praxis bedeutungslos.

Zum Schluß wurde noch die Kraftlinienverteilung bei einem Hufeisenmagneten im offenen und durch einen Anker geschlossenen Zustande experimentell bestimmt. Durch das Anlegen des Ankers wird die Verteilung des Magnetismus viel gleichmäßiger, die Streuung wird wesentlich kleiner, während der gesamte Kraftlinienfluß gleichzeitig wächst. Theoretisch ergibt sich dies leicht, wenn man das Ohmsche Gesetz sinngemäß auf den Kraftlinienfluß überträgt.

Berndt.

Erhöhung der Prüfungsgebühren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Der Teuerungszuschlag, welcher auf die Prüfungsgebühren nach der Gebührenordnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt vom 1. Juli 1918 erhoben wird, beträgt ab 1. April 1921:

bei Teil I, Abschnitt Optisches Laboratorium:

Lfd. Nr. 21 (Hefnerlampen)	200%
„ „ 22 (Elektrische Glühlampen für Lichtmessungen)	200%
„ „ 24 (Verbrauchte elektrische Energie)	400%
„ „ 25 (Quarzplatten für saccharimetrische Zwecke)	200%

bei Teil II, Elektrizität:

Lfd. Nr. 1 bis 16a (Zeigerinstrumente)	300%
„ „ 16b und 16c (Zeigerinstrumente mit Meßwandlern)	400%
„ „ 17 bis 25 (Meßwandler)	400%
„ „ 26 bis 34 (Elektrizitätszähler) bis 2 KW	200%
für Zähler bis 25 KW	300%
„ „ über 25 KW	400%
„ „ 35 bis 52 u. 55 (Induktivitäten, Kapazitäten, Wellenmesser, Widerstände)	150%
„ „ 53 u. 54 (Nebenschluß und Vorschaltwiderstände)	300%
„ „ 56 bis 57 (Leitungsmaterialien)	400%
„ „ 58 (Normalelemente)	150%
„ „ 59 (Primärelemente mit Ausnahme von Taschenlampenbatterien)	400%
(Taschenlampenbatterien)	300%
„ „ 61 bis 85 (Isolations- und Installationsmaterial)	600%
Systemprüfungen von Elektrizitätszähler	400%

bei Teil II, Magnetismus:

Lfd. Nr. 1 bis 11	400%

bei Teil III, Wärme und Druck:

In allen Fällen	200%
mit Ausnahme von	
Lfd. Nr. 5 (Ärztliches Thermometer), für welche Zuschlag erhoben werden	100%

Für die durch Aus- und Einpacken der Prüfgegenstände verursachten Kosten wird bei Frachtsendungen eine Gebühr von 2 M. für jede angefangenen 10 kg Bruttogewicht erhoben.

Bei Gegenständen, die für das Ausland bestimmt sind, wird die Gebühr nach der Gebührenordnung ohne Teuerungszuschlag, jedoch in der Währung des betreffenden Landes unter Zugrundelegung der Valuta am 31. Juli 1914 festgestellt und nach dem am Tage der Ausfertigung des Prüfungsscheines an der Berliner Börse notierten Kurs des betreffenden fremden Geldes in Mark umgerechnet. Ergibt sich hiernach ein geringerer Betrag als nach den obigen für das Inland festgesetzten Bestimmungen, so werden letztere angewendet.

Deutsche Firmen, welche für das Ausland bestimmte Gegenstände der Reichsanstalt zur Prüfung einreichen, werden ersucht, dies im Prüfungsantrag zum Ausdruck zu bringen.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
gez. E. Warburg.

— Nachdruck verboten. —

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

GENERAL LIBRARY
JUN 20 1921
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
V. v. Lang in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

4. Heft: April.

Inhalt:

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1920 S. 97. — Dr. H. Erfle, Beiträge zur Geschichte und zur geometrischen Optik des Umkehrsystems mit veränderlicher Vergrößerung S. 107. — Dr. P. H. van Cittert, Zur Beseitigung des Astigmatismus beim Gebrauch des Hohlgitters S. 116. — Dr. Hans Schulz, Zur Theorie der Polarisationsprismen. VI. Schnittwinkel und Gesichtsfelder für Prismen, bei denen die Kristallachse im Hauptschnitt liegt S. 118. — Dr. Max Langé, Über eine Methode, die optischen Abbildungsgleichungen zu praktischen Durchrechnungsformeln umzugestalten S. 121.

Referate: Über asphärische Flächen in optischen Instrumenten S. 123. — Einige Versuche und Bemerkungen zur Farbenlehre. Zur Kenntnis des Purkinjeschen Phänomens S. 125. — Das Graukeilphotometer im Dienste der Pflanzenkultur S. 127.

Bücherbesprechungen: Dr. H. Lehmann, Die Kinematographie S. 128. — W. Demuth, Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik S. 128.

acc 9/2/21
Tillet

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1921.

11

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener Präzisionsmechanischen Werkstätten

G. KESEL

G. m. b. H.

in Kempten i. Allg.

Gravier-Apparat

zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

[6147]

Winkelprismen

Universalinstrument

Bitte neue Preisliste anfordern

J. D. MÖLLER

WEDEL bei HAMBURG

Gegründet 1864

Leistungsfähige Fabrik

für **chirurgische Instrumente** für **Export** nach **Nordamerika** gesucht. Off. unt. **F. D. J. 2789** an **RUDOLF MOSSE, FRANKFURT a. M.** [6148]

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,

RATHENOW a. H.

Es wird gebeten, bei Anfragen auf die „Zeitschrift für Instrumentenkunde" Bezug zu nehmen.

Patentanwalt A. Kuhn, Dipl. Ing. BERLIN SW 61, Gitschinerstr. 106

Jahrgang 1900, 1911/1912

dieser Zeitschrift

zu kaufen gesucht.

Angebote unter **Ikde 6127** durch die Expedition dieses Blattes. [6127]

Komplette Einrichtungen mit allem Zubehör

für

Glasbläsereien, -teilereien, -schleifereien, für Instrumentenfabriken u. Laboratorien

liefern

GOTTHOLD KÖCHERT & SÖHNE, ILMENAU 4, Thür.

[6108] **Spezialfabrik**

für Maschinen und Apparate für Glasbearbeitung

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **April 1921.** Viertes Heft.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1920[1]).

Allgemeines.

1. Personalien.

Ausgeschieden: Der aushilfsweise beschäftigte wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dr. Mylius ist am 31. März 1920 ausgeschieden und als Adjunkt bei der Versuchsanstalt der Technischen Hochschule in Dresden eingestellt worden.

In den Ruhestand sind getreten der technische Sekretär Wacker am 1. August 1920 und der Kanzleisekretär Smago am 1. Oktober 1920.

Die Fernsprechgehilfin Schreiber ist zwecks Verheiratung am 31. März 1920 ausgeschieden.

Die Bürohilfsarbeiterin Kraaz hat am 30. April 1920 ihre Stellung aufgegeben.

Der wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dr. A. Schulze wurde dem Laboratorium für Grundeinheiten, Dr. Lechner dem Laboratorium für Radioaktivität zugeteilt; der Techniker Brändle nach der Unterabteilung IIIb versetzt.

Neu eingetreten sind: als wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dr. Dieterle am 1. März 1920 in das Wechselstromlaboratorium, Dr. Lau am 1. Juli 1920 in das optische Laboratorium Ia, Dipl.-Ing. Menzel am 1. Juli 1920 in das Maschinenlaboratorium; als Technikerdiätar Schroeter am 1. Februar 1920 in das Laboratorium für Radioaktivität, Stenzel am 1. März 1920 in das Laboratorium des Präsidenten, Apwisch am 1. April 1920 in die Hauptwerkstatt; als Fernsprechgehilfin Frl. Becker; als Bürohilfsarbeiterin Frl. Hoffmann am 1. Mai 1920 in das Büro II; als Hilfslaboratoriendiener Mielke am 1. Dezember 1920 in die Unterabteilung IIIa. Dr. Bothe, welcher bis Juli 1920 sich in russischer Kriegsgefangenschaft befand, ist zurückgekehrt und nunmehr wieder im Laboratorium für Radioaktivität tätig.

Angestellt wurden: mit Wirkung vom 1. April 1920 ab die Technikerdiätare Max Schulze, Kügler, Ehmke, Metzner, Melzow, Schrader, Liebers, Tismer und Tesch als Techniker; Fräulein Becker als Fernsprechgehilfin;

mit Wirkung vom 1. Juni 1920 ab der Bürodiätar Müller als Obersekretär;

mit Wirkung vom 1. September 1920 ab der Technikerdiätar Sergel als Techniker;

mit Wirkung vom 1. Oktober 1920 ab der Hilfslaboratoriendiener Burow als Amtsgehilfe.

Befördert wurden zu technischen Sekretären

mit Wirkung vom 1. April 1920 ab die Techniker Genz, Lutzmann und Krause,

mit Wirkung vom 1. September 1920 ab der Techniker Kühnemund.

2. Dienstreisen, Besichtigungen und Teilnahme an Versammlungen.

Die Reichsanstalt wurde vertreten durch:

Reg.-Rat Geiger auf der Hauptversammlung der deutschen Bunsengesellschaft in Halle a. S. vom 21. bis 23. April 1920, an der auch Direktor Grüneisen nichtamtlich teilnahm.

Geh. Reg.-Rat Mylius am 26. Mai 1920 in Berlin bei einer Sitzung der deutschen Gesellschaft für Metallkunde;

[1]) Auszug aus dem an das Kuratorium der Reichsanstalt im März 1921 erstatteten Bericht.

Direktor Grüneisen und Geh. Reg.-Rat Mylius auf der Hauptversammlung derselben Gesellschaft in Berlin vom 21. bis 23. September 1920, an der auch Reg.-Rat Groschuff teilnahm.

Reg.-Rat Jakob auf der 60. Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure vom 20. bis 22. September 1920 in Berlin.

Reg.-Rat Jakob nahm ferner teil am 25. September 1920 an der Sitzung des wissenschaftlichen Beirats des Vereins deutscher Ingenieure.

Reg.-Rat Schmidt beteiligte sich vom 24. bis 26. September 1920 an der Jahresversammlung des Verbandes deutscher Elektrotechniker in Hannover und besichtigte im Anschluß hieran am 27. September 1920 das Elektrische Prüfamt 7 in Bremen.

Die Reg.-Räte Jakob, Göpel und Blaschke nahmen im Laufe des Berichtsjahres an den Sitzungen des Normenausschusses der deutschen Industrie teil.

Die Reg.-Räte Göpel und Blaschke nahmen auch teil an der Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik.

An den Sitzungen des Normenausschusses für Laboratoriumsapparate des Vereins deutscher Chemiker und an den Sitzungen des Ausschusses für Einheiten und Formelzeichen AEF beteiligte sich Geh. Reg.-Rat Scheel.

Auf Einladung des Herrn Reichsministers des Innern nahmen Präsident Warburg sowie die Direktoren Holborn und Grüneisen am 23. November 1920 an einem parlamentarischen Abend im Reichstagsgebäude teil. Zweck: Darlegung der Not der deutschen Wissenschaft und der Ziele und Organisation der zu ihrer Behebung gegründeten Notgemeinschaft.

Nichtamtlich besuchten die Naturforscherversammlung in Nauheim vom 20. bis 24. September 1920 die Reg.-Räte Scheel, Gehrcke, v. Steinwehr und Müller, sowie die wissenschaftlichen Hilfsarbeiter Dr. Merkel und Dr. Baisch.

Reg.-Rat Dipl.-Ing. Vieweg vertrat die Reichsanstalt am 24. und 25. Juni bei den Vorträgen des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung des Vereins deutscher Ingenieure und außerdem bei den Sitzungen des Ausschusses für Lagerversuche des Vereins deutscher Maschinenbau-Anstalten.

3. Metallkommission. Es wurden Verfahren ausgearbeitet, um die Angreifbarkeit von technischen Aluminiumproben zu prüfen, namentlich soweit solche als elektrische Leitungen dienen. Ferner konnten die Versuche zur Herstellung von Drähten aus reinem Nickel und Kobalt wesentlich gefördert werden.

4. Veröffentlichungen. Die Veröffentlichungen von Beamten der Reichsanstalt sind im Anhang 2 aufgeführt.

5. Sitzungen der wissenschaftlichen Beamten. Das Kolloquium der Reichsanstalt hat im Berichtsjahre wieder innerhalb der Dienststunden stattgefunden.

6. Bibliothek. Die Zentralbibliothek verwaltete der Regierungsrat Heuse mit Unterstützung des Büros I.

7. Benutzung des Zweiglaboratoriums auf dem Telegraphenberge bei Potsdam. In dem Laboratorium auf dem Telegraphenberge führte Reg.-Rat Schönrock Strahlungsmessungen aus (s. diesen Bericht S. 103).

Abteilung I.

Unterabteilung Ia.

1. Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen[1]. Um die photochemischen Messungen von der Inkonstanz der Funkenstrahlung unabhängig zu machen, wurde die aus dem Photolyten kommende Strahlung während der ganzen Dauer des Versuchs in kleinen Zeitintervallen bolometrisch gemessen und aus den erhaltenen Werten das Mittel genommen. Die Beziehung dieses Mittelwertes zu der auffallenden Strahlungsenergie ist durch einen besonderen Versuch vorher zu bestimmen. Die Methode ist nur anwendbar bei nicht zu starker Absorption und wurde benutzt, um die Ozonisierung des Sauerstoffs von 47 kg cm^2 Druck durch $\lambda = 0{,}207\,\mu$ zu messen. Das Einsteinsche Gesetz zeigte sich hier wieder nahezu erfüllt, die Wirkung überstieg sogar die von diesem Gesetz geforderte um einige Prozent, während sie bei $\lambda = 0{,}253$ wieder weit hinter jenem Gesetz zurückblieb.

[1]) E. Warburg.

Die Arbeit ist in den Druck gegeben, sie enthält außerdem eine Untersuchung des benutzten Resonanzinduktors sowie der als Strahlungsquelle dienenden Funken. Bei der Eichung des Bolometers mit der Hefner-Lampe empfiehlt es sich die Blendengröße zu variieren, um festzustellen, ob der bestrahlte Fleck klein genug ist. — Endlich wird eine weitere Beziehung zwischen photochemischer Wirkung und chemischer Wirkung stiller Entladung erörtert, indem eine g-cal. eine weit größere Zahl von O_2 als von NH_3-molekeln spaltet, mag sie diesen Gasen in Form von Strahlung oder von elektrischer Energie zugeführt werden.

2. Energieumsatz bei der Kohlensäureassimilation in grünen Zellen[1]).

Als Lichtquelle diente prismatisch in einem sehr lichtstarken Spektrometer zerlegtes Bogenlicht, dessen Intensität mittels eines geeichten Bolometers absolut gemessen und vermöge einer besonderen Bogenlampenkonstruktion (vergl. unten) bis auf einige Prozent konstant gehalten wurde. Als Versuchsobjekt wurde eine Grünalge (*Chlorella vulgaris*) verwandt, welche in einer wässerigen Natriumkarbonatbikarbonatlösung oder in einer mit 4% CO_2 gesättigten Knoopschen Nährflüssigkeit suspendiert war. Bei den zu verschiedenen Jahreszeiten aufgenommenen 80 Versuchsreihen wurde — außer im Blau — unter Bedingungen gearbeitet, bei denen die photochemische Wirkung der absorbierten Strahlung proportional war. Es ergaben sich an verschiedenen Tagen unter gleichen äußeren Bedingungen (Temperatur, Kohlensäuredruck) für denselben Wellenlängenbezirk erhebliche Unterschiede des Nutzeffekts, welche weit außerhalb der Versuchsfehler lagen. Die bisher erhaltenen höchsten Nutzeffektziffern sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt, wobei als Nutzeffekt das Verhältnis der gewonnenen chemischen Arbeit zur absorbierten Strahlungsenergie bezeichnet ist. φ bedeutet die Zahl der durch eine absorbierte Grammkalorie zersetzten Mole an Kohlensäure. Die Intensität der Strahlung pro cm² der bestrahlten Algensuspensionsfläche betrug hierbei in allen Farben etwa $2 \cdot 10^{-4}$ *cal/sec.*

Farbe:	Rot	Gelbrot	Orange	Gelb	Grün	Blau
Wellenlänge in $\mu\mu$	660—710	600—650	570—610	550—590	510—550	445—500
Nutzeffekt (proz.) .	14	20	23	21	15	13
$\varphi \cdot 10^5$	0,12	0,17	0,20	0,18	0,13	—

3. Konstruktion einer Gleichstrom-Bogenlampe mit geringen Intensitätsschwankungen[2]).

Weitgehende Konstanz des Bogenlichts wurde dadurch erzielt, daß als positive Kohle statt der üblichen, eventuell rotierenden Dochtkohlen eine langsam rotierende negative 12 mm Homogenkohle Marke *E* der Firma Gebr. Siemens & Co., Lichtenberg, in Horizontallage benutzt wurde, der schräg von unten eine homogene 9 mm Graphitkohle in 3—4 mm Abstand entgegenstand, wobei der Strom beiden Kohlen in bekannter Weise nahe dem Bogen durch federnde Silberbacken zugeführt wurde.

Belastet man ein solches Kohlenpaar konstant mit 95 A und stellt die Spitze der negativen Kohle so ein, daß sie ca. 2 mm über die Unterkante der positiven ragt, so brennt die positive Kohle unter lebhaftem Zischen völlig plan und gerät auf der ganzen Vorderfläche in gleichmäßige Glut. Der Abbrand der positiven Kohle ist der hohen Strombelastung entsprechend erheblich, nämlich 7 mm/min, der der negativen nur ca. 2 mm/min. Die spektralbolometrisch kontrollierten Intensitätsschwankungen einer solchen Bogenlampe überschritten während einer Kohlenbrenndauer (35 min) nach kurzem Einbrennen im Sichtbaren einige Prozent nicht. Andere Kohlensorten, Abstände und Belastungen erwiesen sich als wesentlich ungünstiger. Die Bogenlampe ist mit automatischem Vorschub versehen; Versuche mit dünneren Kohlen und geringeren Stromstärken sind in Aussicht genommen.

5. Wasserstoffspektrum[3]).

Auf Grund einer Anregung des Herrn Prof. W. Wien in der Sitzung des Kuratoriums vom 10. März 1920 wurde die Interferenzfähigkeit der Balmer-Serie und des Viellinienspektrums des Wasserstoffs untersucht. An Stelle des in der Reichsanstalt nicht vorhandenen Inter-

[1]) C. Müller und O. Warburg.
[2]) C. Müller.
[3]) Gehrcke, Lau.

ferometers von Fabry und Perot wurde ausschließlich das Interferenzspektroskop von Lummer und Gehrcke verwendet und die genannten Spektren hinsichtlich Feinstruktur, Intensitätsverteilung und Breite untersucht.

Durch Verwendung einer geeigneten Geisslerschen Röhre von weitem Durchmesser und folgeweise kleiner Stromdichte gelang es, die Balmer-Serie frei von den störenden Momenten des intramolekularen Stark-Effekts darzustellen. Es wurde innerhalb der Messungsfehler Konstanz der Schwingungsdifferenzen der beiden Komponenten jeder Balmer-Linie erhalten und der Wert $\Delta\nu = 9{,}0 \cdot 10^9$ gefunden. Dieser Befund weicht erheblich von früheren Messungen anderer Beobachter ab, denen ein weniger geeignetes Erzeugungsverfahren der Linien zur Verfügung stand (s. Anhang 2, Nr. 6).

Zur Messung der Intensitätsverteilung und Breite verfuhr man folgendermaßen: mit einer kleinen rotierenden Blende wurde die Belichtung des Kollimatorspalts ungleichförmig gemacht, derart, daß man je nach Bedarf eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Skala von Belichtungsstärken erhielt, die durch die angewandte Blendenform bedingt war. Diese Vorrichtung war so angeordnet, daß längs der einzelnen Interferenzmaxima die Skala von Belichtungsstärken sich photographieren ließ. Es entstanden so Kurven gleicher Schwärzung, aus welchen die Intensitätsverteilung der Spektrallinien ausgewertet werden konnte. Ein Bild einer solchen Aufnahme zeigt Fig. 1. Zur Messung der sogenannten Breite der Spektrallinien bedarf man der Kenntnis derjenigen Schwärzung, welche durch die halbe Intensität der maximalen Schwärzung gegeben ist. Hierzu wurde einfach eine Aufnahme mit halber Belichtungsdauer benutzt; die maximale Schwärzung dieser Aufnahme gibt die gesuchte Schwärzung an.

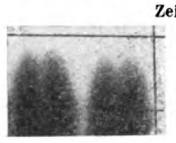


Fig. 1.

Es erwies sich als praktisch, die Interferenzstreifen gleich bei der ersten photographischen Aufnahme zu vergrößern, und zwar nur in der Richtung senkrecht zu den Streifen. Hierzu wurde eine planparallele Glasplatte bei Austrittswinkeln des Lichts von 70—80° verwendet, die hinter die als Interferenzspektroskop dienende Platte in den Strahlengang so eingefügt war, daß die Streifensysteme beider Platten parallel waren. Es entsteht dann ein in einer Dimension vergrößertes Bild der Interferenzstreifen des Interferenzspektroskops, das von sehr engen Interferenzstreifen der zweiten Platte durchzogen ist; diese engen Streifen haben den Vorteil, bei der Entwicklung der photographischen Platte Überlagerungen der verschiedenen Schwärzungen der verschiedenen Plattenteile zu vermindern.

Folgende Tabellen geben die Messungsergebnisse für die beiden Wasserstoffspektren wieder; Tabelle I bezieht sich auf die Balmer-Serie, Tabelle II auf das Viellienienspektrum; es bedeuten:

λ Wellenlänge in $\mu\mu$,

$\Delta\lambda$ Abstand der beiden Komponenten einer Balmer-Linie in $\mathring{A}$-E.

$\Delta\nu$ Differenz der Schwingungszahlen der beiden Komponenten,

$\delta\lambda$ Breite einer einzelnen Komponente in $\mathring{A}$-E.

Bei der Berechnung der Breite werden die Angaben von Schönrock (*Ann. d. Phys.* **20**. *S. 1000. 1906*) benutzt.

Tabelle I.

λ	H_α	H_β	H_γ	H_δ
$\Delta\lambda$	0,13	0,071	0,055	0,043
$\Delta\nu \cdot 10^{-9}$ (1/sec)	9,06	8,9	8,8	7,7
$\delta\lambda$ beob.	0,045	0,032	0,024	—
$\delta\lambda$ ber.	0,042	0,031	0,027	0,025

Tabelle II.

$\lambda = 626$ (sehr lichtschwach)	614	602	554	542	504	466
$\delta\lambda$ beob. $= 0{,}035$	0,030	0,025	0,0225	0,026	0,024	0,0195
$\delta\lambda$ ber. $= 0{,}029$	0,028	0,0275	0,025	0,0245	0,023	0,021

Die Genauigkeit der Messungen für $\Delta\nu$ beträgt bei den ersten Gliedern der Balmer-Serie

$\pm 4\%$. Die Beobachtungen bestätigen die Auffassung, daß die Balmer-Serie von H-Atomen, das Viellinienspektrum von H_2-Molekeln ausgesandt wird.

6. Struktur feinster Spektrallinien[1]).

Nachdem die Serienlinien einer großen Zahl von Elementen hinsichtlich ihrer Linienstruktur untersucht worden sind, ist der Frage nach der Struktur der Bandenspektra nähergetreten worden. Hierzu wurde ein auf dem Gebiet der Bandenspektra erfahrener Gelehrter, Herr Dr. Glaser, zugezogen. Die Bandenspektra von *Hg, C, Mg* im Vakuumlichtbogen ergaben bei Kreuzung mit einem lichtstarken Spektrographen von Schmidt & Haensch scharfe Interferenzstreifen im Interferenzspektroskop. Trabanten wurden nicht gefunden, aber die Spektra zeigten ähnliche Moiréemuster, wie sie Wood (*Physikal. Zeitschr. 8. S. 607. 1907*) für das Spektrum des Titans beobachtet hat. Diese Muster sind ein Anzeichen dafür, daß in den Bandenspektren außerordentlich genaue Gesetzmäßigkeiten der einzelnen Wellenlängen gelten; sie können zur Aufklärung der Zusammenhänge unter den Einzelgliedern dieser sehr verwickelten Spektren dienen.

7. Messung von e/m[2]).

Der im vorjährigen Tätigkeitsbericht erwähnte Aufbau zu einer genauen e/m-Bestimmung ist hinsichtlich der Erzeugung und Messung des Magnetfeldes beendet worden. Insbesondere wurde die große Magnetisierungsspule von Bestelmeyer neu justiert und das Feld vollständig durchgemessen. Es ergab sich Übereinstimmung mit den alten, 10 Jahre zurückliegenden Angaben von Bestelmeyer.

8. Prüfungen von radioaktiven Präparaten[3]).

Die Prüftätigkeit des Laboratoriums hat in diesem Berichtsjahr weiter zugenommen. Es wurden nach der Gammastrahlen-Methode 181 (146) Präparate, darunter 61 Mesothor- und 8 Radiothorpräparate geprüft. Der Gesamtgehalt aller Präparate entsprach 3037 (2664) mg Radium-Element, der Gesamtgehalt der Mesothor- und Radiothorpräparate entsprach 1353 bzw. 147 mg. Prüfungsanträge für schwach-radioaktive Präparate lagen nur in beschränktem Umfange vor.

9. Reichweitemessungen[4]).

Die bereits im Vorjahre begonnene Untersuchung über die Reichweite der α-Strahlen ist nahezu abgeschlossen. Eine möglichst exakte Messung der Reichweiten sämtlicher α-Strahler unter möglichst gleichartigen Bedingungen war das Ziel dieser Arbeit. Ihre Inangriffnahme war um so dringlicher, als die bisher vorliegenden Messungen sich nur auf einzelne Gruppen von α-Strahlern erstreckten, wobei die Vergleichbarkeit der Zahlen durch die verschiedenen Meßmethoden wie durch die ungenügende Definition der Reichweite stark beeinträchtigt war. Andererseits trat die Unzulänglichkeit des vorhandenen Zahlenmaterials bei den Reichweiten besonders stark hervor, da die quantitativen Beziehungen, welche zwischen der Reichweite und anderen atomaren Konstanten, vor allem der Lebensdauer der α-Strahler bestehen, numerische Nachprüfung dringend erforderten.

Die Meßgenauigkeit konnte gegenüber früheren Versuchen vor allem durch die Anwendung eines Verfahrens erheblich gesteigert werden, welches den Einfluß der Schichtdicke der strahlenden Substanz eliminierte, eine Fehlerquelle, die früher fast gänzlich unberücksichtigt blieb. Bekanntlich wird die Reichweite schon bei relativ sehr dünnen Schichten durch die Absorption der Strahlen in der Substanz selbst merklich reduziert. Die dadurch bedingte Korrektion wurde ermittelt, indem der zu messenden Substanz A so viel Radium C beigemengt wurde, daß seine Aktivität die der Substanz A etwa um das hundertfache überstieg. Mit der so überaktivierten Strahlungsquelle wurde zunächst die Reichweitenkurve für Radium C aufgenommen, die natürlich die Abweichungen aufwies, welche durch die Schichtdicke der Substanz A bedingt waren. Wenn dann nach Ablauf von einigen Stunden Radium C ganz abgeklungen war, wurde eine zweite Kurve aufgenommen, die jetzt der ungleich langlebigeren Substanz A entsprach und die auf Grund der Erfahrungen an der Radium C-Kurve entsprechend korrigiert werden konnte. Die Reichweite von Radium C selbst, das ja als aktiver Niederschlag in unendlich dünner Schicht erhältlich ist, kann ohne weiteres direkt gemessen werden.

---

[1]) Gehrcke, Lau.
[2]) Gehrcke und Janicki.
[3]) Geiger, Bothe, Lechner.
[4]) Geiger.

I. Zahl der α-Strahlen von Radium[1]. Unter Benutzung der hier ausgearbeiteten Zählmethode[2]), welche auf der Auslösung von Spitzenentladungen beruht, wurde eine Bestimmung der von einem Gramm Radium pro Sekunde emittierten α-Teilchen in Angriff genommen. Bisher liegen nur zwei direkte Bestimmungen dieser Zahl vor (Rutherford und Geiger 1908; Hess und Lawson 1918). Die Abweichung der beiden Zahlenwerte (3,48 bzw. $3{,}72 \cdot 10^{10}$) ließen eine Neubestimmung mit erweiterten Hilfsmitteln wünschenswert erscheinen. Die erreichten Verbesserungen liegen außer in der einfachen und einwandsfrei arbeitenden Zählmethode in zwei Richtungen: einmal wird als Strahlenquelle Radiumemanation statt des für genaue Messungen viel zu kurzlebigen Radium *C* benutzt; zweitens werden alle Zählungen photographisch registriert, so daß die bei direkter Beobachtung mit dem Auge recht erheblichen Unsicherheiten ausgeschaltet werden.

II. Zählung und Reichweite von Rückstoßatomen[3]. Eine ebenfalls unter Anlehnung an die erwähnte Zählmethode ausgeführte Untersuchung über Rückstoßatome, welche im wesentlichen bereits in der Vorkriegszeit ausgeführt worden war, gelangte zur Veröffentlichung (s. Anhang 2 Nr. 7). Die Zählmethode konnte derartig modifiziert werden, daß auch die Rückstoßatome, deren Reichweite in Luft von Atmosphärendruck nur etwa $^1/_{100}$ cm beträgt, gezählt werden konnten. Unter Verwendung des aktiven Niederschlags der Thoremanation wurde die Emission der Rückstoßstrahlen in Luft und Wasserstoff näher untersucht.

Unterabteilung Ib.

1. Photometrische Prüfungen[4]. Der Ende des Jahres 1918 gelieferte, nach den genauen Angaben der Reichsanstalt von der Firma Franz Schmidt & Haensch hergestellte große Spiegelapparat zur Bestimmung der Lichtverteilung von Lampen mit einem Durchmesser bis zu 1 m ist, nachdem die innere Einrichtung des Apparates in der Reichsanstalt fertiggestellt worden war, zu Anfang dieses Jahres in Gebrauch genommen worden. Der optische Abstand zwischen der zu messenden Lampe und der als Photometerschirm dienenden Linse beträgt 5 m. Trotz dieser großen Entfernung lassen sich mit dem Apparat unter Benutzung geeigneter Linsenkombinationen Lichtquellen von geringer Lichtstärke bis zu 16 HK herunter ohne Schwierigkeit auf ihre Lichtverteilung untersuchen.

Der im vorigen Bericht erwähnte Umbau der photometrischen Hilfseinrichtungen konnte in diesem Jahre beendigt werden. Damit sind die vor langer Zeit begonnenen Einrichtungsarbeiten im großen Photometerraum abgeschlossen. Es steht nun noch die Fertigstellung des kleinen Photometerraumes aus.

Die im Jahre 1920 ausgeführten photometrischen Prüfungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

55 (15) beglaubigte Hefnerlampen, davon
- 1 (2) mit Visier,
- 30 (9) mit optischem Flammenmesser,
- 22 (3) mit Visier und optischem Flammenmesser,
- 1 (0) mit Visier und Ersatzdochtrohr,
- 1 (1) mit Visier, optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr;

16 (14) Kohlenfadenlampen als Normallampen für photometrische Zwecke;

221 (170) Metallfadenlampen, davon
- 183 (170) als Normallampen für photometrische Zwecke,
- 9 (0) Lampen in Dauerprüfung mit im ganzen 2066 Brennstunden,
- 21 (0) Lampen in kurzdauernder Prüfung,
- 8 (0) Zwergflachlampen;

1 (0) Außenarmatur für gasgefüllte Lampen;

2 (4) Gasglühlichtapparate mit stehendem Glühkörper, davon
- 1 besonderer Konstruktion;

1 (0) Photometeraufsatz mit Lummer-Brodhunschem Gleichheitswürfel.

[1]) Geiger.
[2]) vgl. Tätigkeitsbericht 1913, *diese Zeitschr.* **34.** *S. 129. 1914.*
[3]) Kolhörster.
[4]) Brodhun, Liebenthal.

Die photometrische Prüftätigkeit hat im Vergleich zum Vorjahre zugenommen. Ein Teil der Prüfungen war für das Ausland (Holland, Österreich, Japan) bestimmt.

Die Zahl der beglaubigten Hefnerlampen, welche während der Kriegszeit jährlich durchschnittlich nur 5 betrug und im Jahre 1919 auf 15 gestiegen war, belief sich im Berichtsjahre auf 55 und erreichte damit annähernd wieder die Höhe der Vorkriegszeit.

Im ganzen wurden 199 zu Normallampen für photometrische Zwecke bestimmte Glühlampen (gegen 184 im Vorjahre) geprüft. Von diesen wurden 69 auf mittlere räumliche Lichtstärke, und davon 20 außerdem noch auf Lichtstärke in einer bestimmten Ausstrahlungsrichtung oder auf mittlere Lichtstärke senkrecht zur Lampenachse untersucht. Die kleinen Glühlampen bis zu 5 HK, 6 V, die wegen ihrer Verwendung in tragbaren Photometern von Wichtigkeit sind, zeigten bedauerlicherweise vielfach eine geringe Konstanz in der Lichtstärke. Zum Teil waren sie anscheinend nicht genügend gealtert; denn als mehrere Lampen außer den beiden üblichen Messungen (nach 0,1 und etwa 18 Brennstunden) noch einer dritten Messung (nach etwa 36 Brennstunden) unterzogen wurden, ergab sich eine befriedigende Übereinstimmung zwischen der zweiten und dritten Messung.

Bei der Dauerprüfung der 9 Metallfadenlampen besonderer Herstellung waren nach 250 Brennstunden bereits 6 durchgebrannt.

Die Außenarmatur für gasgefüllte Lampen war mit einem weißlackierten Reflektor von 30 cm Durchmesser und mit einer Klarglasglocke von 25 cm Durchmesser versehen. Zur Prüfung diente eine Lampe zu 250 V, 500 W.

Der Gasglühlichtbrenner besonderer Konstruktion ließ in bezug auf seine Lichtwirkung keinen Vorzug vor dem normalen Auerbrenner erkennen. Er enthielt Reguliervorrichtungen für die Gas- und Luftzufuhr. Jedoch gestatteten diese keine hinreichend scharfe Einstellung.

Der Photometeraufsatz war von einer elektrotechnischen Fabrik mit der Bitte eingesandt Unterschiede zwischen den Messungen, die sie mittels dieses Aufsatzes ausgeführt hatte, und den Messungen der Reichsanstalt aufzuklären. Die Prüfung zeigte eine verhältnismäßig große Ungleichseitigkeit des Photometers. Wenn man das Lichtstärkenverhältnis ausschließlich aus den Abständen berechnete, erhielt man einen um rund 6% fehlerhaften Wert. Dabei erwies sich der Photometerschirm als auf beiden Seiten gleich beschaffen. Die beobachtete Ungleichseitigkeit war demnach durch ungleichseitiges Verhalten in Spiegeln und Prismen veranlaßt. Die oben erwähnte Abweichung der Messungen der Firma von denen der Reichsanstalt rührte daher, daß die Firma die Ungleichseitigkeit weder berücksichtigt, noch durch geeignete Anordnung der Messung eliminiert hatte.

2. Leuchtmittelsteuergesetz[1]).

Durch Leuchtmittelprüfungen für Steuerbehörden wurde die Reichsanstalt im Berichtsjahre etwas mehr als im vorhergehenden in Anspruch genommen. Es wurden 54 (6) Metallfadenlampen, 30 (0) Kohlenfadenlampen und 6 (12) Kohlenstifte geprüft. Unter den elektrischen Prüfämtern hat nach dem letzten Jahresbericht für die Zeit vom 1. Mai 1919 bis zum 30. April 1920 wie im vorhergehenden Jahre nur das Prüfamt VI (Frankfurt a. M.) Leuchtmittelsteuerprüfungen ausgeführt, und zwar wurden 63 (6) Metallfadenlampen untersucht.

3. Lichtbrechung von Flußspat und Quarz[2]).

Im vorigen Tätigkeitsberichte war die Abhängigkeit des Brechungsexponenten n des Flußspats von der Wellenlänge λ durch die aus den vollständigen Summen-Formeln hergeleitete Kettelersche Gleichung mit fünf Konstanten

a) Ergebnisse an Flußspat.

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2 - C} - D\lambda^2 - E\lambda^4$$

dargestellt worden, und zwar für den Wellenlängenbereich von 0,4 bis 2,6 μ. Weitere Rechnungen haben aber inzwischen zu dem Resultat geführt, daß diese Gleichung doch nicht mit hinreichender Genauigkeit (von weniger als einer Einheit der sechsten Dezimale für n) die beobachteten Brechungsexponenten wiederzugeben vermag. Es genügt also mit anderen Worten für Flußspat nicht mehr, mit nur je einem Absorptionsgebiet im Ultraviolett und Ultrarot zu rechnen.

---

[1]) Brodhun, Liebenthal.

[2]) Schönrock.

Zur Vermeidung weiterer umfangreicher Berechnungen von mehr als fünf Konstanten erwies es sich am vorteilhaftesten, den Wellenlängenbereich in den sichtbaren und ultraroten Teil zu zerlegen und für jeden dieser Teilbereiche die fünf Konstanten getrennt nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen. Im Gegensatz zu den früheren Werten I für die fünf Konstanten liefert diese Ausgleichung der Beobachtungsfehler dann die folgenden Werte:

Werte II für $\lambda = 0{,}4$ bis $0{,}71\,\mu$

$A = 2{,}038\ 8463$ $\quad B = 0{,}006\ 14797$

$C = 0{,}008\ 6716$ $\quad D = 0{,}003\ 26424$

$E = 0{,}000\ 00289$;

Werte III für $\lambda = 0{,}71$ ... bis $2{,}6\,\mu$

$A = 2{,}038\ 8303$ $\quad B = 0{,}006\ 16369$

$C = 0{,}006\ 9932$ $\quad D = 0{,}003\ 21287$

$E = 0{,}000\ 00289$.

Die hiermit berechneten Werte für n sind in der folgenden Tabelle mit den beobachteten zusammengestellt; darin beziehen sich sowohl die Wellenlängen λ wie auch die Brechungsexponenten n des Flußspats bei 20° auf Luft von 20° und 760 mm Druck (bei 9 mm absoluter Feuchtigkeit).

Linie				λ in μ	$n_{20°}$ beobachtet	n berechnet	$(n_{ber.} - n_{beob.})\ 10^7$
Hg		violett	4047	0,404 658	1,441 5099	1,441 5119	+ 20
Hg		violett	4078	0,407 785	1,441 2890	1,441 2872	− 18
Hg		blau	4358	0,435 836	1,439 4944	1,439 4929	− 15
He		blau	4472	0,447 150	1,438 8656	1,438 8664	+ 8
Zn		blau	4722	0,472 219	1,437 6377	1,437 6384	+ 7
Cd	Zn	blau	4805	0,480 525	1,437 2742	1,437 2742	+ 0
H		blau	4861	0,486 138	1,437 0381	1,437 0386	+ 5
He		grün	5016	0,501 570	1,436 4325	1,436 4316	− 9
Cd		grün	5086	0,508 585	1,436 1735	1,436 1737	+ 2
Hg		grün	5461	0,546 077	1,434 9584	1,434 9589	+ 5
Hg		gelb	5780	0,578 016	1,434 1020	1,434 1016	− 4
Na		gelb	5893	0,589 298	1,433 8304	1,433 8303	− 1
Zn		rot	6362	0,636 238	1,432 8439	1,432 8448	+ 9
Cd		rot	6439	0,643 850	1,432 7050	1,432 7037	− 13
H		rot	6563	0,656 286	1,432 4825	1,432 4827	+ 2
He		rot	7065	0,706 523	1,431 6947	1,431 6949	+ 2
$^4/_3$ Hg		gelb	5780	0,770 688	1,430 8799	1,430 8814	+ 15
$^3/_2$ Hg		grün	5461	0,819 115	1,430 3704	1,430 3694	− 10
2 Cd	Zn	blau	4805	0,961 049	1,429 1954	1,429 1902	− 52
2 Hg		grün	5461	1,092 154	1,428 3523	1,428 3529	+ 6
2 Hg		gelb	5780	1,156 031	1,427 9924	1,427 9943	+ 19
2 Na		gelb	5893	1,178 596	1,427 8658	1,427 8730	+ 72
3 Cd	Zn	blau	4805	1,441 574	1,426 5842	1,426 5753	− 89
3 Hg		grün	5461	1,638 231	1,425 6500	1,425 6541	+ 41
3 Hg		gelb	5780	1,734 047	1,425 2000	1,425 2011	+ 11
3 Na		gelb	5893	1,767 893	1,425 0359	1,425 0393	+ 34
4 Cd		grün	5086	2,034 339	1,423 7262	1,423 7190	− 72
4 Hg		grün	5461	2,184 308	1,422 9318	1,422 9297	− 21
4 Hg		gelb	5780	2,312 063	1,422 2226	1,422 2261	+ 35
4 Na		gelb	5893	2,357 191	1,421 9705	1,421 9705	− 0
4 Zn		rot	6362	2,544 951	1,420 8598	1,420 8635	+ 37
4 Cd		rot	6439	2,575 402	1,420 6797	1,420 6770	− 27

In der letzten Kolumne dieser Tabelle sind die übrigbleibenden Fehler gegen die Beobachtungen selbst $\Delta = n_{\text{ber.}} - n_{\text{beob.}}$ enthalten. Diese Verbesserungen Δ lassen, auf die bekannten Kriterien geprüft, einen Gang nicht mehr erkennen. Für $\lambda = 0{,}71\ \mu$ ergeben die beiden Formeln mit den Konstanten II bzw. III zwei Werte von n, die nur um vier Einheiten der siebenten Dezimale differieren, was ohne Belang ist. Mit den früheren Werten I ergab sich aus der Fehlerquadratsumme $[\Delta\Delta]$ der mittere Fehler einer Beobachtung n gleich $\pm 0{,}0_6 18$ im sichtbaren Spektrum, gleich $\pm 0{,}0_5 49$ im Ultraroten; mit den Werten II beträgt er jetzt $\pm 0{,}0_5 11$ im sichtbaren Spektrum, mit den Werten III im Ultraroten wieder $\pm 0{,}0_5 49$. Für das sichtbare Spektrum ist er demnach merklich gesunken und steht nun auch besser im Einklang mit der aus den direkten Messungen der n zu folgernden Genauigkeit.

Von Wichtigkeit ist es, noch das folgende Ergebnis zahlreicher Versuchsreihen nachzutragen. Mit dem für die bolometrischen Messungen im Ultrarot benutzten Wadsworthschen piegelspektrometer werden die Differenzen zweier Einfallswinkel gemessen, unter denen die Strahlen das Flußspat-Prisma in der Minimumstellung durchsetzen. Solche Differenzmessungen wurden nun nach dieser Methode auch mit den sichtbaren Linien Hg blau 4358, Cd Zn blau 4805, Cd grün 5086, Hg grün 5461, Hg gelb 5780, Na gelb 5893 okular ausgeführt und dann mit den Werten verglichen, die sich aus den Messungen am großen Heeleschen Spektrometer nach der Methode der Minimumstellung ergeben hatten. Die Resultate nach beiden Methoden standen in guter Übereinstimmung und lieferten keine Unterschiede, die über die möglichen Beobachtungsfehler hinausgingen. Alle angestellten Versuchsreihen haben als Unterschied (Wert Minimum-Methode minus Wert Wadsworth-Methode) den verschwindend kleinen Mittelwert $+ 0{,}02''$ ergeben; merkliche systematische Fehler sind also bei den Messungen mit dem benutzten Wadsworthschen Spiegelspektrometer nicht nachweisbar.

b) Arbeiten mit Quarz. Mit der Bestimmung der Dispersion des bei den früheren Strahlungsmessungen benutzten, optisch ausgezeichnet reinen Quarzprismas für den Wellenlängenbereich von 0,4 bis 2,9 μ ist im Zweiglaboratorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam begonnen worden. Die Messungen im sichtbaren Spektrum mit dem großen Heeleschen Spektrometer nach der Methode der Minimumstellung sind abgeschlossen. Bisher waren von anderen Forschern die Temperaturkoeffizienten des Brechungsexponenten, $\frac{dn}{dt}$, nur für die Strahlen senkrecht zur optischen Achse ermittelt worden. Daher wurde noch eine Reihe von Messungen zur Bestimmung des Temperaturkoeffizienten für die Strahlen in Richtung der optischen Achse ausgeführt. Von Interesse ist die folgende Tatsache: bezeichnet ω den ordentlichen, ε den außerordentlichen Brechungsexponenten, so ist bei gewöhnlichen Lufttemperaturen $\frac{d\omega}{dt} - \frac{d\varepsilon}{dt}$ positiv senkrecht zur optischen Achse, dagegen, wie sich aus der Abhängigkeit der Drehung von der Temperatur ergibt, negativ in Richtung der optischen Achse. Das gilt ungeändert auch für den Ausdruck $\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} - \frac{1}{\varepsilon}\frac{d\varepsilon}{dt}$.

Die Durchmessung der Dispersion im Quarz für ultrarote Strahlen ist zurzeit im Gange. Die Erfahrungen bei den voraufgegangenen Messungen mit Flußspat haben Anlaß zu mannigfachen Verbesserungen an den Apparaten gegeben; diese Verbesserungen sind inzwischen sämtlich ausgeführt worden. So ist vor allem an dem Wadsworthschen Spiegelspektrometer die den Prismentisch mit Spiegel drehende Mikrometerschraube, welche bisher nur ganze Sekunden zu schätzen gestattete, mit einer neuen Teilung auf der Trommel versehen worden. Die Einstellungen sind nunmehr bis auf $\pm 0{,}2''$ genau ablesbar; dies ist passend, weil der mittlere Einstellungsfehler bei den okularen Beobachtungen etwa $\pm 0{,}8''$ beträgt. Was dagegen die bolometrischen Einstellungen des Spaltbildes auf den Bolometerstreifen betrifft, so ist wohl zu beachten, daß hierbei zumeist eine Sicherheit von $\pm 0{,}1''$ erreicht wird; es ist dies mit eine Folge davon, daß man beim Vorüberführen des Spaltbildes am Bolometerstreifen die Mikrometerschraube immer nur genau auf die Trommel-Teilstriche einzustellen braucht.

Die nach dem Umbau erforderliche, erneute genaue Auswertung der Mikrometerschraube in Winkelmaß ist mit Hilfe des großen Heeleschen Spektrometers ausgeführt worden.

4. Dioptrische Prüfungen[1]).

Die dioptrischen Prüfungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Anzahl	Gegenstand	Art der Prüfung
2 (0)	Quarzglasplatten	Ebenheit und Parallelismus der Oberflächen
14 (0)	Glasproben	Brechungsexponent für Na-Licht
3 (0)	Glasprismen	genaue Messung des Ablenkungswinkels
2 (0)	Linsen	Brennweite für Na-Licht
10 (0)	Glasproben	Absorption für violettes und ultraviolettes Licht
1 (0)	photographisches Objektiv	Öffnung und Brennweite
2 (0)	große Fernrohrobjektive	sphärische und chromatische Abweichung
2 (0)	Paar Probegläser	Größe der Krümmungsradien

Von den beiden Fernrohrobjektiven hatte das eine einen Durchmesser von 130 mm und eine Brennweite von 1500 mm, das andere 220 mm Durchmesser und etwa 2600 mm Brennweite.

5. Objektivuntersuchungen[2]).

Nachdem alle Zubehörteile zu dem großen Objektivprüfapparat im Laufe des Jahres geliefert wären, konnte gegen Ende desselben mit der Justierung und der Bestimmung der Konstanten begonnen werden. Bisher ist das zu dem Prüfgerät gehörige Kollimatorobjektiv von etwa 3 m Brennweite und 22 cm Durchmesser für Licht von 6 verschiedenen Wellängen und 4 Zonen auf chromatische und sphärische Aberration untersucht worden.

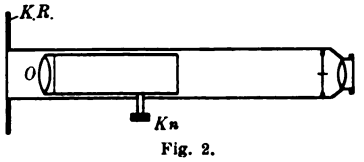


Fig. 2.

Ferner wurde der Apparat durch zwei Hilfsvorrichtungen ergänzt, und zwar erstens durch einen Ansatz, der den Gebrauch der Hartmannschen Methode unter Anwendung von Pentaprismen (vgl. den vorigen Tätigkeitsbericht, *diese Zeitschr.* ***40.*** *S. 96. 1920*) gestattet.

Die zweite Hilfsvorrichtung ist ein Justierfernrohr (s. Fig. 2) das zur Ausrichtung zu untersuchender Objektive angefertigt wurde. Das Objektiv *O* ist in verhältnismäßig weiten Grenzen mit Hilfe des Knopfes *Kn* verschiebbar. Optische und mechanische Achse des Fernrohrs fallen zusammen. Bei der mit dem Fernrohr vorzunehmenden Justierung soll erreicht werden, daß die Achse des zu untersuchenden Objektivs mit der des Fernrohrs zusammenfällt. Dies ist durch Beobachtung der Lage der von den Flächen des zu justierenden Objektivs erzeugten Spiegelbilder eines weißen, am Objektivende des Fernrohrs befindlichen, zur Fernrohrachse zentrischen Kreisringes *KR* möglich. Fallen die Achsen von Fernrohr und auszurichtendem Objektiv zusammen, dann müssen alle diese Spiegelbilder, auf die man nacheinander durch Verschieben des Fernrohrs scharf einstellen kann, zentrisch zum Fadenkreuz liegen. Diese Lage der Spiegelbilder wird durch Kippen und Parallelverschiebung des auszurichtenden Objektivs herbeigeführt. Wenn die einzelnen Linsen des Objektivs zueinander ungenügend zentriert sind, so zeigt das Justierfernrohr diesen Fehler an, indem es dann nicht möglich ist, alle Spiegelbilder in vollkommen zentrische Lage zum Fadenkreuz zu bringen.

6. Messungen von Krümmungsradien[2]).

Im Anschluß an die Bestimmung der Radien von Probegläsern wurde die 40 mm lange $^1/_{10}$-mm-Skala des Sphärometers auf ihre inneren Teilungsfehler untersucht.

Die verhältnismäßig große Unsicherheit, mit der sich infolge der geringen Pfeilhöhe die Radien schwach gekrümmter Kugelflächen messen lassen, und die Unmöglichkeit der Messung der Radien von Kugelflächen, deren Durchmesser kleiner als der des kleinsten verfügbaren Sphärometerringes ist, ließen es erwünscht erscheinen, die Bestimmung der Krümmungsradien auf eine andere Art als mit dem gebräuchlichen Sphärometer vorzunehmen.

Dreht man eine Kugelfläche um ihren Kugelmittelpunkt, so erleiden die von dieser Kugelfläche erzeugten Spiegelbilder keine Verschiebung. Diese Tatsache liegt der in Fig. 3 angedeuteten Versuchsanordnung zugrunde.

[1]) Brodhun, Schönrock, Wetthauer.
[2]) Wetthauer.

F ist ein mit Fadenkreuz versehenes Fernrohr, mit dem man ein von der Kugelfläche *K* erzeugtes Spiegelbild beobachtet. Die Kugelfläche *K*, deren Krümmung bestimmt werden soll, ist auf dem auf der Schiene *S* verschiebbaren Schlitten *Schl* durch Schrauben justierbar befestigt, die Schiene *S* ist um die senkrechte Achse *D* drehbar. Durch Verschieben des Schlittens *Schl* und Justieren von *K* mit den erwähnten Schrauben kann erreicht werden, daß das im Fernrohr

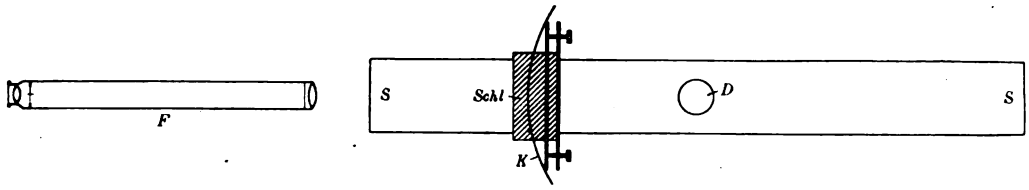


Fig. 3.

beobachtete Spiegelbild beim Drehen der Schiene um *D* sich gegen das Fadenkreuz nicht verschiebt; es liegt dann der Kugelmittelpunkt von *K* auf der Drehachse *D*. Mit einem geeigneten Maße kann der zu *K* gehörige Kugeldurchmesser bei zwei um 180° verschiedenen Lagen der Schiene *S* bestimmt werden.

Die bisher ausgeführten Vorversuche lassen erwarten, daß man damit zu Ergebnissen kommen wird, die eine Ergänzung der Sphärometermessungen bilden können.

(Fortsetzung folgt.)

Beiträge zur Geschichte und zur geometrischen Optik des Umkehrsystems mit veränderlicher Vergrößerung.

Von

Dr. **H. Erfle** in Jena.

(Mitteilung aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiß.)

§ 1. Mitteilung eines von Wüllner im Jahre 1876 angegebenen Formelpaares zur Berechnung der Linsenstellungen für ein zweiteiliges Umkehrsystem mit veränderlicher Vergrößerung.

Anfang Dezember 1919 fand ich Angaben über die Berechnung der Linsenstellungen eines zweiteiligen Umkehrsystems an einer Stelle, an der man Formeln der geometrischen Optik im allgemeinen nicht zu finden erwartet, nämlich in den Berichten der deutschen chemischen Gesellschaft in einer Arbeit von H. Landolt über die Anwendung des Projektionsapparates in chemischen Vorlesungen. Landolt[1]) weist in dieser Arbeit darauf hin, daß es sehr zweckmäßig wäre, auch in chemischen Vorlesungen den in physikalischen Vorlesungen damals schon mehrfach verwendeten Projektionsapparat zu benutzen, um die chemischen Vorgänge in (zu diesem Zweck in kleinerem Maßstab angefertigten) Retorten, Röhren und anderen chemischen Glasapparaten einem größeren Hörerkreis in vergrößertem Maßstab auf einem Projektionsschirm sichtbar zu machen. Gerade heutzutage ist es zeitgemäß, wenn an diese von Landolt vorgeschlagene Ausführung von chemischen Versuchen mit kleinen Stoffmengen erinnert wird. Landolt hat damals eine Laterne von Duboscq mit Drummondschem Kalklicht benutzt; die Unbequemlichkeit der üblichen Projektionsapparate, die darin besteht, daß der Abstand vom Gegenstand zum Bild von der Vergrößerung abhängt, wurde dabei durch Verwendung eines zweiteiligen Umkehrsystems umgangen, dessen Linsenstellungen durch Verschieben der beiden Linsen so

[1]) H. Landolt, Über die Anwendung des Projektionsapparates in chemischen Vorlesungen. *Ber. d. Deutsch. chem. Gesellsch.* **9.** *S. 1849—1858. 1876.*

bestimmt werden, daß die Länge A des Umkehrsystems — also der Abstand vom Gegenstand bis zum Bild — bei allen Vergrößerungen die gleiche bleibt. Bei der von Landolt benutzten Anordnung war für alle Vergrößerungen der Abstand des Schirmes von der Laterne 9 m: nach seinen Messungen waren die Zahlenwerte für die Linsenstellungen und die Vergrößerung die folgenden:

Abstand der 17-cm-Linse vom Gegenstand	Abstand der 60-cm-Linse von der 17-cm-Linse	Vergrößerung
6 cm	55 cm	20
10 „	43 „	30
12 „	31 „	40
13 „	19 „	50
14 „	8 „	60

Die Öffnung beider Linsen war 11 cm; welche Form die Linsen hatten und ob etwa jede „Konvexlinse“ eine achromatische Linsenfolge war, wird von Landolt nicht angegeben. Es ist wahrscheinlich, daß es sich um einfache Linsen gehandelt hat. Bezüglich der von Landolt gegebenen Beispiele der zu projizierenden chemischen Versuche, der Verwendung eines mit Magnesia alba unter Verwendung von Leim als Bindemittel angestrichenen Projektionsschirmes und vieler anderer wichtigen Einzelheiten sei auf die Arbeit Landolts selbst verwiesen. Worauf es mir hier vor allem ankommt, ist die Erwähnung der beiden in der Anmerkung 2, Seite 1851 von Landolt wiedergegebenen, von Wüllner abgeleiteten Formeln für die Berechnung der Stellungen der beiden Linsen aus dem Gesamtabstand, den Einzelbrennweiten und der Vergrößerung. Ich führe die Stelle aus Anmerkung 2, Seite 1851 wörtlich an: „Nach der gefälligen Mittheilung meines Collegen Herrn Wüllner lassen sich die Stellungen der Linsen aus nachstehenden Formeln berechnen. Gegeben sei: 1. die Brennweite der ersten (dem Gegenstand zugekehrten) Linse $= f$; 2. die Brennweite der zweiten Linse $= F$; 3. die Entfernung des Schirmes von dem zu projizierenden Gegenstand $= A$; und gesucht wird: 1. der Abstand der ersten Linse vom Gegenstand $= a$; 2. der Abstand der zweiten Linse von der ersten $= d$. Dann ist, wenn endlich V die gewünschte Vergrößerung bezeichnet:

$$a = \frac{1}{3} f \cdot \frac{2F(V-1)+A}{f+VF} - \sqrt{\left(\frac{1}{2}\,\frac{2F(V-1)+A}{f+VF}\right)^2 - \frac{f^2\left(A+\frac{(V-1)^2}{V}F\right)}{f+VF}};$$

$$d = \frac{a(f+F) - f\cdot F\left(\frac{V-1}{V}\right)}{a-f}.$$

Bei der Rechnung ist nicht zu vergessen, daß die Vergrößerungen V negativ zu nehmen sind, da die Bilder umgekehrt erscheinen.“

Ich berichtige zunächst zwei Druckfehler in der Formel für a: Statt $\frac{1}{3} f$ muß $\frac{1}{2} f$ gesetzt werden; in der ersten Klammer unter dem Wurzelzeichen muß statt $^1/_2\ \frac{1}{2} f$ gesetzt werden. Dies ergibt sich aus der Ableitung, die ich im § 2 gebe.

Die Landoltsche Veröffentlichung ist auch um deswillen wichtig, weil in ihr für den Projektionsapparat ein Umkehrsystem mit veränderlicher Vergrößerung und unveränderlicher Länge schon im Jahre 1876 angegeben ist, wie es im Jahre 1905 für ein Fernrohr im D. R.-P. 198489 erneut beschrieben wurde, wobei eine mechanische Kuppelung der beiden Teile des Umkehrsystems hinzugekommen ist — etwa

in der Art, wie sie von Hugo Schröder (*diese Zeitschr. 10. S. 133—141. 1890*) beschrieben worden ist. Offenbar war das Umkehrsystem der Landoltschen Veröffentlichung ganz in Vergessenheit[1]) geraten.

§ 2. Ableitung der Wüllnerschen Formeln.

Wüllner hat die vorhin angeführten Gleichungen ohne Ableitung angegeben; ich leite nunmehr die Formeln mit abgeänderten Bezeichnungen ab. Die Brennweite der ersten Umkehrlinse [die im allgemeinen selbst aus mehreren Linsen zusammengesetzt sein kann] sei f_1; die Brennweite der zweiten Umkehrlinse sei f_2. Die Länge des Umkehrsystems — der Abstand vom Dingpunkt bis zum Bildpunkt[2]) — sei A. Will man die Gesamtlänge des Umkehrsystems ermitteln, dann muß man A noch vergrößern um die Summe der Hauptpunktszwischenräume der beiden Umkehrlinsen, die bei dünnen Linsen und $n = 1{,}5$ durch den dritten Teil der Summe der beiden Linsendicken gegeben ist. Die Schnittweiten (für achsennahe Strahlen) seien der Reihe nach mit s_1, s_1', s_2, s_2' bezeichnet und sollen immer den Abstand vom Hauptpunkt einer Linse zu dem im gleichen Raum mit dem Hauptpunkt liegenden Dingpunkt oder Bildpunkt angeben. Es gelten die fünf bekannten Gleichungen:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{s_1'}, \tag{1}$$

$$s_1' - d_1 = s_2, \tag{2}$$

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2'}, \tag{3}$$

$$A = -s_1 + d_1 + s_2' \tag{4}$$

$$V = \frac{s_1'}{s_1} \cdot \frac{s_2'}{s_2} = \frac{s_1'}{s_1} \cdot \frac{A + s_1 - d_1}{s_2}. \tag{5}$$

Aus 5) folgt:

$$\frac{1}{s_2} = \frac{V \cdot s_1}{s_1'(A + s_1 - d_1)}. \tag{5a}$$

Aus 5a) und 2):

$$s_2 = s_1' - d_1 = \frac{s_1'(A + s_1 - d_1)}{V \cdot s_1}, \tag{2a}$$

oder

$$s_1' = \frac{d_1 V s_1}{(V-1)s_1 - A + d_1}. \tag{2b}$$

[1]) Auch in den späteren Katalogen der Firma Duboscq (bzw. ihrer Nachfolgerin Ph. & F. Pellin) ist als Projektionsobjektiv für veränderliche Vergrößerung nicht mehr das seinerzeit von Landolt benutzte, aus zwei Sammellinsen bestehende Umkehrsystem genannt, sondern ein solches nach dem Vorschlag von A. Crova (A. Crova: *Appareil pour projeter les images à une distance quelconque avec un grossissement variable. Journ. de phys. 10. 158—160. 1881;* mit 2 Abb.) aufgenommen, das aus einer plankonvexen und einer plankonkaven Linse aus gleicher Glasart und mit gleichem absoluten Betrag der Brennweiten besteht. Beim Linsenabstand Null wirken diese beiden Linsen zusammen wie eine Planparallelplatte und ergeben mit wachsendem Linsenabstand abnehmende Gesamtbrennweite und damit die Möglichkeit der Anpassung an jeden Abstand vom Gegenstand bis zum Bild und unter Zuhilfenahme der gemeinsamen Verschiebung beider Linsen an die richtige Stelle die Herstellung jeder beliebigen Vergrößerung.

Am Schlusse des § 3 habe ich zwei Zahlenbeispiele für eine solche Anordnung mit aufgenommen. (Erstes und zweites Beispiel der Zusammenstellung 2.)

[2]) Ohne Einrechnung der beiden Hauptpunktszwischenräume.

Durch Einsetzen von 2a) und 4) in 3) folgt:

$$\frac{V s_1}{s_1'(A+s_1-d_1)}+\frac{1}{f_2}=\frac{1}{A+s_1-d_1}, \qquad 3a)$$

2b) in 1):

$$\frac{1}{s_1}+\frac{1}{f_1}=\frac{(V-1)s_1-A+d_1}{d_1\cdot V s_1}, \qquad 1a)$$

$$V\cdot d_1(f_1+s_1)=f_1\{(V-1)s_1-A+d_1\}. \qquad 1b)$$

Hieraus kann man entweder d_1 durch s_1 oder s_1 durch d_1 ausdrücken; wir wählen zunächst den ersten Weg und erhalten:

$$d_1=\frac{f_1\{(V-1)s_1-A\}}{V s_1+(V-1)f_1}. \qquad 5)$$

Formt man 6) um in

$$d_1=\frac{1-V+\frac{A}{s_1}}{\frac{1-V}{s_1}-\frac{V}{f_1}},$$

so hat man damit die von Hnatek[1]) mit 3) bezeichnete Gleichung.

Führt man 2b) in 3a) ein und multipliziert mit $A+s_1-d_1$, dann ergibt sich

$$\frac{(V-1)s_1-A}{d_1}+\frac{A+s_1-d_1}{f_2}=0. \qquad 3b)$$

Es sei hier noch eingeschaltet, daß aus 3b) ein Ausdruck abgeleitet werden kann, der f_2 darstellt bei gegebenen s_1, d_1, A, V:

$$f_2=\frac{d_1(A+s_1-d_1)}{A-(V-1)s_1}. \qquad 3c)$$

3c) kann auch in der Form geschrieben werden:

$$f_2=\frac{d_1\cdot s_2'}{s_2'+d_1-V s_1}.$$

6) in 3b) eingesetzt ergibt nach einigen Umformungen, die hier weggelassen werden sollen:

$$s_1^2(f_1+f_2V)+s_1f_1[A+2f_2(V-1)]+f_1^2\left\{f_2\frac{(V-1)^2}{V}+A\right\}=0 \qquad 3d)$$

$$s_1=-\frac{f}{2}\cdot\frac{2f_2(V-1)+A}{f_1+f_2V}\pm\sqrt{\left(\frac{f_1}{2}\frac{2f_2(V-1)+A}{f_1+f_2V}\right)^2-f_1^2\cdot\frac{A+\frac{(V-1)^2}{V}f_2}{f_1+f_2V}}. \qquad 7)$$

Berücksichtigt man, daß unser $-s_1$ dem Wüllnerschen a entspricht, dann stimmt 7) mit der in § 1 wiedergegebenen Wüllnerschen Formel für a überein[2]).

---

[1]) A. Hnatek, Zur geometrischen Optik der Umkehrsysteme mit Kollektiv. *Diese Zeitschr.* ***39.*** *S. 341—350. 1919.*

Gl. 3) Seite 343: β, Δ und σ_1 bei Hnatek entsprechen unseren V, A und $\frac{1}{s_1}$.

[2]) Es sei noch erwähnt, daß aus 1) und 5) folgt:

$$V\left(1-\frac{s_1}{f_1}\right)+\frac{A+s_1-d_1}{f_2}=1,$$

$$d_1=(V-1)f_2-V\cdot s_1\cdot\frac{f_2}{f_1}+A+s_1.$$

Aus 3) und 5) folgt:

$$s_2 = \frac{f_2 s_2'}{f_2 - s_2'} = \frac{s_2' s_1'}{V \cdot s_1}$$

und hieraus durch Gleichsetzen der beiden Ausdrücke für s_2 und Einführung von s_1' aus 1) nach einigen Umformungen:

$$s_2' = -\frac{f_2}{f_1} \cdot V \cdot s_1 - f_2 V + f_1 .$$

Führt man diese Gleichung für s_2' in 3) ein, dann wird:

$$s_2 = \frac{f_2 \{f_1 (1 - V) - V s_1\}}{V (s_1 + f_1)} .$$

Hieraus folgt mit $d_1 = s_1' - s_2$ und $s_1' = \frac{s_1 f_1}{s_1 + f_1}$

$$d_1 = \frac{s_1 (f_1 + f_2) - f_1 f_2 \frac{1 - V}{V}}{s_1 + f_1} . \qquad 7a)$$

Man erkennt ohne weiteres, daß 7a) der in § 1 wiedergegebenen Wüllnerschen Formel für d entspricht. Da bei Landolt nur die beobachteten und nicht die berechneten Werte von $a (= -s_1)$ und $d (= d_1)$ wiedergegeben wurden, seien hier die Ergebnisse der Rechnung nach 7) und 7a) [bzw. nach den vereinfachten Formeln, die ich in § 3 ableite] wiedergegeben:

Zusammenstellung 1:

$-s_1$	d_1	s_2'	A	$-V$
5,970	55,425	838,617	900,012	20
9,560	42,720	847,717	899,997	30
11,346	30,400	858,250	899,996	40
12,415	18,420	869,167	900,002	50
13,127	6,760	880,100	899,987	60

Dementsprechend wären die in § 1 mitgeteilten, durch Beobachtung ermittelten Landoltschen Zahlen zu berichtigen.

§ 3. Vereinfachungen und Ergänzungen zu den Wüllnerschen Formeln.

Gl. 7) läßt sich umformen in

$$s_1 = -\frac{f_1}{2 (f_1 + f_2 V)} \left\{ 2 f_2 (V - 1) + A \pm \sqrt{A^2 - 4 A (f_1 + f_2) - 4 f_1 f_2 \frac{(V-1)^2}{V}} \right\} . \qquad 8)$$

Setzt man

$$w = \pm \sqrt{A^2 - 4 A (f_1 + f_2) - 4 f_1 f_2 \frac{(V-1)^2}{V}} , \qquad 9)$$

dann folgt aus 8)

$$s_1 = -f_1 \cdot \frac{2 f_2 (V - 1) + A + w}{2 (f_1 + f_2 V)} , \qquad 10)$$

oder auch

$$s_1 = -f_1 + f_1 \cdot \frac{2 (f_1 + f_2) - A - w}{2 (f_1 + f_2 V)} . \qquad 11)$$

Denkt man sich das gleiche Umkehrsystem in umgekehrter Richtung von den Lichtstrahlen durchlaufen, dann liefert 11) ohne weiteres auch einen Ausdruck für s_2',

wenn man in 11) s_1 durch $-s_2'$, f_1 durch f_2, V durch $\frac{1}{V}$ ersetzt. A und w bleiben dabei gemäß den Gleichungen 4) und 9) unverändert, da der in 9 vorkommende Ausdruck

$$\frac{-A_0}{F} = \frac{(V-1)^2}{V} = V - 2 - \frac{1}{V}, \qquad 12$$

der bekanntlich schon bei der einfachen Umkehrlinse eine wichtige Rolle[1] spielt, bei der Vertauschung von V und $\frac{1}{V}$ ungeändert bleibt. So folgt aus 11)

$$s_2' = +f_2 - \frac{f_2 \cdot V}{2} \cdot \frac{2(f_1+f_2) - A - w}{2(f_1 + f_2 V)}. \qquad 13$$

Aus 4), 11) und 13) folgt

$$d_1 = A - f_1 - f_2 + \frac{2(f_1+f_2) - A - w}{2(f_1+f_2V)},$$

$$d_1 = \frac{A-w}{2}. \qquad 14)$$

Die Formeln 9), 11), 14) und 13) stellen die einfachste Form für die Berechnung von s_1, d_1, s_2' aus f_1, f_2, A, V dar. Es sei noch darauf hingewiesen, daß es für die bequeme Berechnung sehr vorteilhaft ist, daß die zweiten Summanden in 11) und 13) als Faktor denselben Bruch $\frac{2(f_1+f_2)-A-w}{2(f_1+f_2V)}$ haben. Formel 14) kann man auch erhalten, wenn man nach Gl. 1b) s_1 durch f_1 ausdrückt:

$$s_1 = f_1 \cdot \frac{A + d_1(V-1)}{-Vd_1 + f_1(V-1)}. \qquad 6a)$$

Durch Einsetzen von 6a) in 3b) folgt

$$f_1[A + d_1(V-1)]\{f_2(V-1) + d_1\} + \{-Vd_1 + f_1(V-1)\}[(A-d_1)d_1 - Af_2] = 0$$

und schließlich

$$d_1^2 - Ad_1 + A(f_1+f_2) + f_1 f_2 \frac{(V-1)^2}{V} = 0. \qquad 14a)$$

Hieraus folgt

$$d_1 = \frac{A \pm \sqrt{A^2 - 4A(f_1+f_2) - 4f_1f_2\frac{(V-1)^2}{V}}}{2}, \qquad 14b)$$

also mit 9) wieder die Gl. 14).

Abgesehen von den Fällen, in denen bestimmte Bedingungen[2]) für das Vorzeichen von s_1 oder s_2' bestehen, sind die Grenzen, innerhalb deren eine Veränderung der Vergrößerung möglich ist, dadurch gegeben, daß d_1 positiv und w reell [d. h. der

[1]) F ist die Gesamtbrennweite des Umkehrsystems für die Vergrößerung V. Beispielsweise heißt es auf Seite 9 in der 1899 erschienenen Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs von M. von Rohr: „Sieht man nämlich von dem Interstitium, d. h. der Entfernung HH' beider Hauptpunkte ab, so ist dieser Abstand A:

$$A = nf + 2f + \frac{f}{n} = \frac{(n+1)^2}{n} f."$$

Unser V entspricht bei von Rohr der Größe: $-n$.

[2]) Soll im besonderen Falle $A = 0$ sein, dann folgt aus 9), daß dieser Fall bei einem wirklichen Umkehrsystem (also bei negativem V) nur möglich ist, wenn f_1 und f_2 positiv oder beide negativ sind.

Ausdruck unter der Quadratwurzel in 9) positiv] sein muß. Je nach der Lage der einander zugekehrten Hauptpunkte der Bestandteile des Umkehrsystems und aus praktischen Gründen wird der kleinste zulässige Wert für d_1 nicht Null sein, sondern meist größer als Null sein. Wir betrachten nur die durch $d_1 = 0$ bestimmten Grenzwerte V_g und V_k der Vergrößerung[1]).

Für $d = 0$ erreicht die Gesamtbrennweite F des Umkehrsystems (Bezeichnung mit großem Buchstaben zum Unterschied gegenüber den Einzelbrennweiten f_1 und f_2) einen Grenzwert

$$F_{g,k} = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}. \tag{15}$$

Für diesen Sonderfall ist bekanntlich[2])

$$A_0 = A = -F_{g,k}\left(V - 2 + \frac{1}{V}\right). \tag{16}$$

Aus 16) folgt

$$F_{g,k} V^2 + (A - 2F_{g,k}) V + F_{g,k} = 0$$

und hieraus

$$V_{g \text{ und } k} = \frac{-(A - 2F_{g,k}) \pm \sqrt{A(A - 4F_{g,k})}}{2F_{g,k}}. \tag{17}$$

$$V_g - V_k = -\frac{1}{F_{g,k}} \sqrt{A(A - 4F_{g,k})}. \tag{18}$$

Außerdem ist[3])

$$V_g \cdot V_k = 1. \tag{18a}$$

Zum Verlauf des Zahlenwertes w bei Änderung von V sei noch bemerkt, daß es immer zwei bestimmte Vergrößungen V geben wird (die Kehrwerte zueinander sind), für die der Ausdruck unter der Qnadratwurzel in 9) gerade noch Null wird. Es folgt dies daraus, daß der in 9) vorkommende, von V abhängige Ausdruck $\frac{(V-1)^2}{V}$ (siehe Gl. 12!) jeden beliebigen positiven und negativen Wert annehmen kann; allerdings muß man dabei außer negativen V auch positive V annehmen. Beispielsweise ist nach 12) für

$V =$	$-\infty$	-10	-1	0	$+1$	$+10$	$+\infty$
$\frac{-A_0}{F} =$	$-\infty$	$-12{,}1$	$-4{,}0$	$\mp\infty$	0	$+8{,}1$	$+\infty$.

Die Werte von V, für die w zu Null wird, sind berechenbar aus

$$A^2 - 4A(f_1 + f_2) - 4 f_1 f_2 \frac{(V-1)^2}{V} = 0.$$

Hieraus folgt

$$V_{w=0} = \left[\frac{A^2 - 4A(f_1 + f_2)}{8 f_1 f_2} + 1\right] \pm \sqrt{\left[\frac{A^2 - 4A(f_1 + f_2)}{8 f_1 f_2} + 1\right]^2 - 1},$$

---

[1]) Im allgemeinen Falle setzt man den zulässigen Grenzwert von d_1 in 14) ein und bestimmt damit w und dann V_g und V_k als die beiden Wurzeln der aus 9) folgenden quadratischen Gl. für V.

[2]) Der Faktor bei $-F_{g,k}$ ist also der mit 12) bezeichnete Ausdruck. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß $A = A_0$ nur in dem Sonderfall $d = 0$ gilt.

[3]) Man kann auch auf andere Art leicht beweisen, daß nicht nur die zu $d = 0$ gehörenden Vergrößerungen V_g und V_k Kehrwerte zueinander sind, sondern auch je zwei andere gleichem d_1 enstprechende Vergrößerungen.

oder auch, wenn man die auf die Länge A des Umkehrsystems bezogenen Brennweiten $\frac{f_1}{A}$ und $\frac{f_2}{A}$ einführt:

$$V_{w=0} = \left[\frac{1-4\left(\frac{f_1}{A}+\frac{f_2}{A}\right)}{8\,\frac{f_1}{A}\cdot\frac{f_2}{A}}+1\right] \pm \sqrt{\left[\frac{1-4\left(\frac{f_1}{A}+\frac{f_2}{A}\right)}{8\,\frac{f_1}{A}\cdot\frac{f_2}{A}}\right]^2-1}. \qquad 18\,b)$$

In dem in § 2 gegebenen Zahlenbeispiel [$A=900$, $f_1=17$, $f_2=60$] sind die beiden Zahlenwerte

$$V_{w=0} = +132{,}579 \quad \text{und} \quad +0{,}00754.$$

Für die praktische Verwendung als wirkliches Umkehrsystem (also V negativ) bringt demnach in diesem Falle die Bedingung, daß V reell bleiben soll, keine Beschränkung für die möglichen Vergrößerungen. Man erkennt dies auch unmittelbar aus 9): $4A(f_1+f_2)$ ist in diesem Falle kleiner als A^2; da V nur negativ sein soll, ist [für $f_1=+17$, $f_2=+60$] $-4f_1f_2\frac{(V-1)^2}{V}$ immer positiv, so daß hier w nie Null und nie imaginär werden kann. Für das gleiche Zahlenbeispiel sind die durch $d_1=0$, also durch die aus dieser Bedingung abgeleitete Gl. 17) berechenbaren Grenzwerte V_g und V_k:

$$V_g = -65{,}925,$$
$$V_k = -0{,}01517.$$

Es seien noch drei Zahlenbeispiele mitgeteilt, bei denen zugleich angegeben ist, wie der Abstand der Austrittspupille von der Bildebene $x_2'-s_2'$ sich ändert[1]) mit V, wenn man für x_1-s_1, den Abstand der Eintrittspupille des Umkehrsystems von seiner Dingebene, bei allen Vergrößerungen V denselben Wert annimmt.

Zusammenstellung 2.

V	-20	-30	-40	-50	-60
$f_1=-30$, $f_2=+30$, $x_1-s_1=+146{,}52$, $V_{w=0}=-222{,}996$ und $-0{,}0045$	$s_1=-11{,}781$	$+2{,}041$	$+9{,}127$	$+13{,}440$	$+16{,}345$
	$d_1=22{,}610$	$33{,}267$	$44{,}192$	$55{,}433$	$67{,}008$
	$s_2'=865{,}620$	$868{,}780$	$864{,}933$	$858{,}000$	$849{,}317$
	$x_2'-s_2'=-806{,}98$	$-816{,}66$	$-817{,}56$	$-813{,}64$	$-807{,}10$
$f_1=-60$, $f_2=+60$, $x_1-s_1=-4{,}796$, $V_{w=0}=-54{,}232$ und $-0{,}0184$	$s_1=+21{,}863$	$+35{,}959$	$+43{,}505$	$+48{,}757$	—
	$d_1=99{,}108$	$154{,}735$	$223{,}690$	$326{,}594$	—
	$s_2'=822{,}750$	$781{,}247$	$719{,}814$	$622{,}163$	—
	$x_2'-s_2'=-526{,}92$	$-600{,}80$	$-593{,}91$	$-526{,}91$	—
$f_1=-30$, $f_2=+60$, $x_1-s_1=-18{,}661$, $V_{w=0}=-95{,}490$ und $-0{,}0105$	$s_1=+10{,}768$	$+17{,}487$	$+20{,}914$	$+23{,}009$	$+24{,}440$
	$d_1=81{,}475$	$106{,}717$	$134{,}000$	$163{,}878$	$197{,}275$
	$s_2'=829{,}267$	$810{,}780$	$786{,}917$	$759{,}133$	$727{,}157$
	$x_2'-s_2'=-639{,}22$	$-675{,}38$	$-676{,}50$	$-662{,}61$	$-639{,}44$

Der Vollständigkeit halber sei noch bemerkt, daß in den Zusammenstellungen 1 und 2 bei der Berechnung von w nach 9) nur das positive Vorzeichen der Quadratwurzel angenommen wurde. Hätte man bei dem Zahlenbeispiel der Zusammenstellung 1 das negative Vorzeichen dieser Quadratwurzel verwendet, dann hätten sich die fol-

[1]) Ich will davon absehen, hier eine von mir abgeleitete Formel wiederzugeben, welche die Abhängigkeit der Größe $x_2'-s_2'$ von x_1-s_1, f_1, f_2, A und V darstellt.

genden Zahlen ergeben, die erkennen lassen, daß diese Lösung schon wegen der großen Empfindlichkeit der Einstellung der Linse f_1 unbrauchbar wäre.

Zusammenstellung 3.

Für $A = 900$, $f_1 = 17$, $f_2 = 60$ und das negative Vorzeichen der Quadratwurzel in 9):

$-s_1$	d_1	s_2'	A	V
17,310	844,570	38,115	899,995	— 20
17,327	857,280	25,392	899,999	— 30
17,332	869,600	13,067	899,999	— 40
17,334	881,580	1,080	899,994	— 50
17,333	893,240	— 10,573	900,000	— 60

§ 4. Bestimmung der Einzelbrennweiten f_1 und f_2, wenn die Linsenstellungen für eine bestimmte Vergrößerung gegeben sind.

Aus 5) und 2) folgt

$$s_1' s_2' = s_1 (s_1' - d_1) V$$

und daraus

$$s_1' = \frac{s_1 d_1 V}{s_1 V - s_2'}.$$

Mit 1) folgt nach einer Umformung

$$f_1 = \frac{s_1 d_1}{s_1 - d_1 - \frac{s_2'}{V}}. \qquad 19)$$

Ersetzt man in 19) s_1 durch $-s_2'$, V durch $\frac{1}{V}$ und f_1 durch f_2, dann ergibt sich

$$f_2 = \frac{s_2' d_1}{s_2' + d_1 - s_1 V}. \qquad 20)$$

Die Gleichungen 19) und 20), die ich im Jahre 1912 abgeleitet habe, sind selbstverständlich nicht nur bei einem Umkehrsystem (also für negative Vergrößerungen V), sondern auch bei einer aus zwei Feldlinsen bestehenden Linsenfolge anwendbar. s_1, s_2' und d_1 sind in vielen Fällen durch die Bauart des Fernrohrs gegeben entweder durch die Länge der Glaswege der an bestimmten Stellen einzuschaltenden Ablenkungsprismen oder durch die von den Größen der Eintrittspupille und der Austrittspupille abhängigen Öffnungsverhältnisse von Objektiv und Okular in Verbindung mit dem vorgeschriebenen Durchmesser der beiden Bestandteile des Umkehrsystems. Auf Einzelheiten über die Anwendung der Gl. 19) und 20) sei hier nicht weiter eingegangen; nur noch einige Beziehungen zwischen den einzelnen Größen seien angeführt. Aus 19) folgt:

$$d_1 = -f_1 \cdot \frac{s_2' - s_1 \cdot V}{V(s_1 + f_1)}, \qquad 19a)$$

ebenso aus 20):

$$d_1 = f_2 \frac{s_2' - s_1 \cdot V}{s_2' - f_2}. \qquad 20a)$$

Durch Vergleich von 19a) mit 20a) folgt, da hierbei $s_2' - s_1 V$ wegfällt[1]):

$$s_2' = f_2 (1 - V) - \frac{f_2 \cdot V s_1}{f_1}. \qquad 21)$$

[1]) Gl. 21) gilt infolgedessen nicht für den Fall, daß $s_2' - s_1 V = 0$ [also $d_1 = 0$].

Durch Vergleich an 19) mit 20) folgt:

$$\frac{f_1}{s_1}\left(s_1 - d_1 - \frac{s_2'}{V}\right) = \frac{f_2}{s_2'}(s_2' - d_1 - s_1 V). \qquad 22)$$

Bei gleichzeitigem Vertauschen von f_1 mit f_2, s_1 mit $-s_2'$, V mit $\frac{1}{V}$ geht die linke Gleichungsseite von 22) über in die rechte Gleichungsseite. Aus 22) folgt nach einigen Umformungen

$$d_1 = (s_1 V - s_2')\cdot\frac{\frac{f_1}{s_1 V} + \frac{f_2}{s_2'}}{\frac{f_1}{s_1} + \frac{f_2}{s_2'}}. \qquad 23)$$

Aus 23) und auch durch unmittelbare Betrachtung des Sonderfalles $d_1 = 0$ folgt, daß für $d_1 = 0$ die Bedingung besteht:

$$s_1 V - s_2' = 0.$$

Es sei noch darauf hingewiesen, daß für den Sonderfall $V = 1$ aus 21) folgt:

$$s_2' = -\frac{f_2}{f_1} s_1.$$

Aus 20) folgt noch im allgemeinen Falle:

$$s_2' = f_2 \cdot \frac{d_1 - s_1 V}{d_1 - f_2}. \qquad 24)$$

Zur Beseitigung des Astigmatismus beim Gebrauch des Hohlgitters.

Von

Dr. **P. H. van Cittert** in Utrecht.

Bekanntlich ergibt die Rowlandsche Anordnung des Konkavgitters stark astigmatische Bilder. Dennoch ist es möglich, auch bei einer derartigen Aufstellung zwei Spektra unmittelbar übereinander zu photographieren, wenn man, wie von Sirks[1]) bemerkt worden ist, das Vergleichsprisma in einer bestimmten Entfernung vor den Spalt stellt. Zur gleichzeitigen Untersuchung der verschiedenen Teile einer Lichtquelle, z. B. eines Lichtbogens nach Lockyers Methode, eignet sich diese Anordnung aber durchaus nicht. Man erhält jedoch ein vollständig stigmatisches Bild mit dem Hohlgitter, wenn man den Spalt ins Unendliche stellt und die Spektra in der Nähe der Normalen auf dem Gitter betrachtet[2]). Zu diesem Zwecke ist im Physikalischen Institut zu Utrecht das Hohlgitter folgendermaßen montiert worden:

In einer Ecke des Souterrains wurde ein kleiner Verschlag gemacht, in dem zwei Steinpfeiler gemauert worden sind: ein rechteckiger A (Fig. 1) und einer in der Gestalt eines Viertelkreises mit einem Radius von 2 m (BD). In den Mittelpunkt G dieses Viertelkreises ist eine bronzene vertikale Drehungsachse J eingeführt worden, auf der ein etwa 2 m langer, schwerer Balken (EF) aus doppeltem T-Eisen ruht. Auf der andern Seite wird der Balken von einem kleinen bronzenen Wagen W getragen, der über den Pfeiler BD schiebt. Dieser Wagen hat die Gestalt eines Kreissegmentes von 2 m Radius und ruht auf Rädern, deren Achsen nach dem Zentrum G

[1]) Sirks, *Astron. a. Astrophys.* **13.** *S. 763. 1894.*

[2]) Runge u. Paschen, *Wied. Ann.* **61.** *S. 641. 1897.*
Fabry et Buisson, *Journ. d. phys.*, 4° S. **9.** *S. 933. 1910.*

gerichtet sind, so daß der Wagen, sogar wenn er sich frei bewegt, einen Kreis von 2 m Radius beschreibt.

In G ist das Gitter dermaßen montiert worden, daß seine Normale dem Balken EF parallel läuft. Die üblichen Anordnungen zum Richtigstellen des Gitters sind auch hier vorgesehen worden. Das Gitter ist ein originelles Rowland-Gitter, $2^1/_2 \times 5$ cm^2 groß, und enthält 568 Linien per mm. Der Krümmungsradius beträgt 2 m.

Das zu untersuchende Licht fällt durch eine Röhre R in der Wand des Zimmers auf den Spalt S und wird von einem sich unmittelbar hinter dem Spalt befindlichen geradwinkligen Glasprisma P reflektiert nach einem Hohlspiegel H, der optisch gerade so weit vom Spalt entfernt ist, daß letzterer sich im Brennpunkte befindet. Das Gitter erhält also vom Spalt paralleles Licht.

Die Stelle, wo das sich bildende Spektrum von der Linie EF geschnitten wird, liegt in einer Entfernung $r = \frac{R}{1 + \cos\alpha} = \frac{200}{1 + \cos\alpha}$ cm von dem Gitter[1]), worin R den Krümmungsradius des Gitters und α den Winkel HGF' vorstellt. Bei Drehung des Balkens bewegt sich der zu beobachtende Teil des Spektrums also über den Parabol NON'. Man hätte also die Kamera jedesmal auf einen andern Teil des Balkens EF zu montieren (im gezeichneten Fall z. B. in O). Um dieser Unbequemlichkeit vorzubeugen, wird das in die Richtung EF gebogene Licht von einer Hohllinse L ($f = 76{,}5$ cm) aufgefangen, so daß die Spektrallinien nicht in O, sondern vergrößert in C scharf abgebildet werden. In C nun ist die Kamera aufgestellt worden. Die Linse kann längs eines Lineals mit Hilfe eines Fadens, der vom Endpunkte C des Balkens aus über einige Rollen läuft, verschoben werden. Die genauere Einstellung erfolgt durch geringe Verschiebung der Kamera. Die Kassette K der Kamera ist um eine Vertikalachse drehbar. Bei der Aufnahme eines Spektrums in der ersten Ordnung muß die Kassette ungefähr 45^0, in der dritten Ordnung etwa 15^0 geneigt sein.

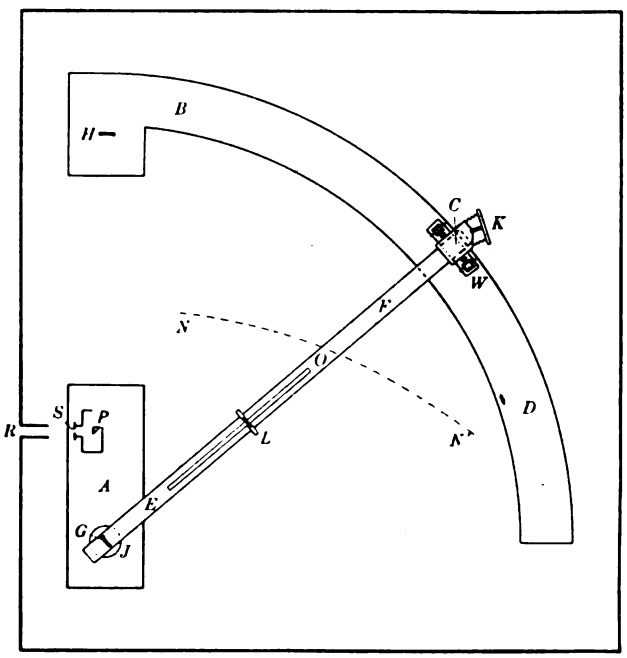


Fig. 1.

Bei einem Winkel α zwischen einfallendem und gebogenem Bündel nimmt man mitten auf der Platte die Wellenlänge $\lambda = \frac{\sin\alpha}{568\,m}$ $\mu\mu$ auf[1]), wenn m die Ordnung des Spektrums vorstellt. Da α nie größer als 90^0 werden kann, würde man also theoretisch von dem Violett an bis 583 $\mu\mu$ in der dritten Ordnung und bis 440 $\mu\mu$ in der vierten Ordnung aufnehmen können. In der Praxis kann man aber schwer-

[1]) Fabry et Buisson, *l. c.*

lich mit größeren Winkeln als etwa 70° experimentieren, so daß diese Grenzen 552 bzw. 414 mm werden.

Obgleich die Fokalfläche einigermaßen gekrümmt ist, kann man dennoch auf flachen Platten Spektra photographieren, die über 9 cm scharf sind.

Die Dispersion beträgt für die Wellenlänge 5400 Å.-E. ungefähr 5 Å.-E. per mm in der erster Ordnung, 3 Å.-E. per mm in der zweiten und 1,8 Å.-E. per mm in der dritten Ordnung.

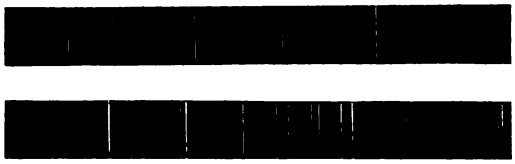


Fig. 2.

Weil sowohl das Prisma wie die Linse aus Glas sind, eignet sich der Spektrograph nicht für ultraviolettes Licht; statt des Glases kann man aber Quarz anwenden.

Obgleich die Linse L völlig unkorrigiert ist, liefert der Spektrograph trotzdem sehr gute Spektra. Von der grünen Quecksilberlinie 5461 Å.-E. sind deutlich 3 Trabanten zu beobachten und zu photographieren, wenn auch die gegenseitige Entfernung kleiner als 0,25 Å.-E. ist.

In Fig. 2 ist als Beispiel ein Teil des Eisenspektrums in der Umgebung von 5400 Å.-E. abgebildet worden, aufgenommen in der ersten und in der dritten Ordnung.

Zur Theorie der Polarisationsprismen.
VI. Schnittwinkel und Gesichtsfelder für Prismen, bei denen die Kristallachse im Hauptschnitt liegt.

Von
Dr. **Hans Schulz** in Berlin-Friedenau.
(Mitteilung aus der Optischen Anstalt C. P. Goerz, Berlin-Friedenau.)

Die allgemeinen, in einer früheren Mitteilung[1]) gegebenen Formeln umfassen zwar sämtliche für die angegebene Achsenlage möglichen Fälle, doch ist bei ihrem verhältnismäßig komplizierten Aufbau der Einfluß der Achsenlage bei verschiedenem Brechungsindices der Kittschicht nicht unmittelbar zu übersehen. Es sollen daher im folgenden einige Tabellen und graphische Darstellungen gegeben werden, die den Einfluß der Achsenlage besser hervortreten lassen und es ermöglichen, die Durchführbarkeit bestimmter Bedingungen, denen die Größe des Schnittwinkels unterworfen werden kann, zu erkennen.

Für den Übergang von Totalreflexion zu streifender Inzidenz gilt für den Brechungsexponenten in der Kittschicht die Beziehung:

$$n = \frac{\varepsilon\,\omega}{\sqrt{\varepsilon^2 \sin^2\alpha + \omega^2 \cos^2\alpha}}, \qquad 1)$$

woraus sich zunächst bei Annahme von $\omega = 1{,}658$ für den ordentlichen Brechungsindex des Kalkspates und $\varepsilon = 1{,}486$ für den außerordentlichen die Wertepaare ergeben:

$\alpha =$	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0
$n =$	1,4904	1,5034	1,5239	1,5503	1,5800	1,6095	1,6348	1,6519

[1]) H. Schulz, *diese Zeitschrift 38. S. 69—75. 1918.*

α bezeichnet den Winkel zwischen Kristallachse und Lot auf der Kittfläche.

Durch Einsetzen des aus 1) für α sich ergebenden Wertes in die Ausdrücke für Schnittwinkel und Gesichtsfeld ergibt sich:

$$\operatorname{tg} S = \frac{\sqrt{\omega^2 - n^2}}{2n}, \qquad 2)$$

$$\sin\frac{J}{2} = \frac{n\sqrt{\omega^2 - n^2}}{\sqrt{3n^2 + \omega^2}}, \qquad 3)$$

aus welchen Formeln die in folgender Tabelle wiedergegebenen Werte folgen:

$\alpha =$	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0
$S =$	$13{,}69^0$	$13{,}09^0$	$12{,}10^0$	$10{,}73^0$	$9{,}04^0$	$7{,}05^0$	$4{,}84^0$	$2{,}46^0$
$J =$	$41{,}32^0$	$39{,}81^0$	$37{,}24^0$	$33{,}56^0$	$28{,}74^0$	$22{,}79^0$	$15{,}85^0$	$8{,}13^0$

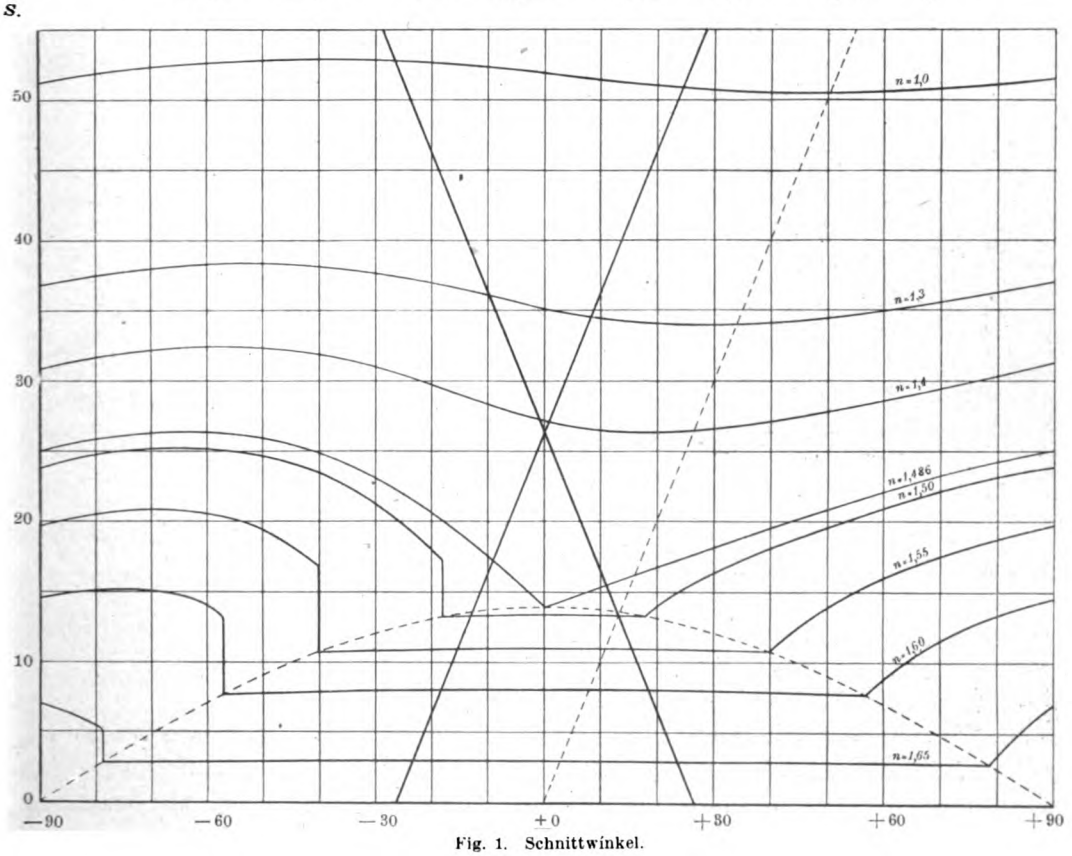


Fig. 1. Schnittwinkel.

Die nach diesen Werten in Fig. 1 und 2 gestrichelt gezeichneten Grenzlinien trennen das Gebiet der Totalreflexion, für das eine in bezug auf positive und negative Werte von α unsymmetrische Verteilung der Größen von Schnittwinkel und Gesichtsfeld auftritt, von dem Gebiet des streifenden Austritts aus der Kittschicht. In letzterem Falle ist, wie auch aus den früher angegebenen Formeln (l. c.) unmittelbar zu entnehmen, der Wert von S bzw. J durch das Vorzeichen von α nicht beeinflußt.

Figur 1 und 2 enthalten nun die für gegebene Werte von n gültigen Werte des Schnittwinkels und des Gesichtsfeldes in Abhängigkeit von der Achsenlage. Die

Unterschiede für positive und negative Werte von α treten deutlich hervor; auffällig ist besonders die schnelle Änderung der S- und J-Werte bei negativen Werten des Achsenwinkels. Diese umfassende graphische Darstellung gestattet die näherungsweise Lösung einiger Aufgaben, die sich aus der Forderung möglichster Materialersparnis bei Wahl senkrechter Endflächen ergeben. Die Genauigkeit ist für praktische Zwecke als hinreichend zu erachten.

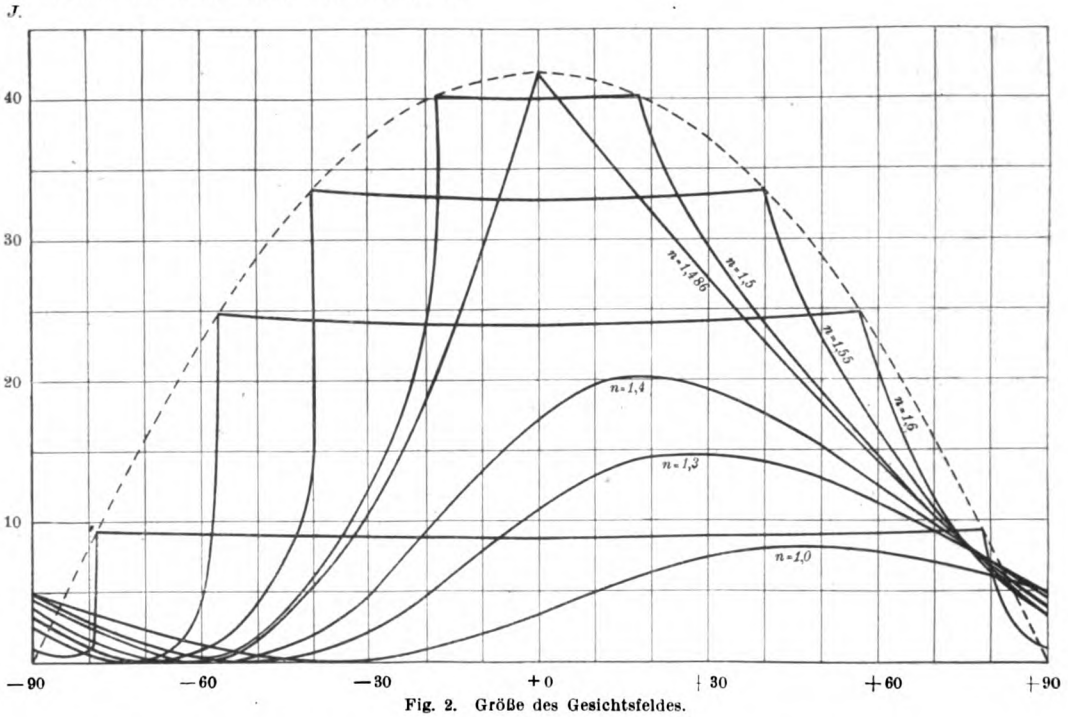


Fig. 2. Größe des Gesichtsfeldes.

Für ein natürliches Kalkspatspaltstück ist der Winkel der Kristallachse mit dem Lot auf einer Spaltungsfläche

$$\beta = 44^0\,37',$$

während der Winkel der Achse mit einer Kante

$$\gamma = 63^0\,44',$$

ist.

Für die alte Nicolsche Form, deren Schnittweise in Fig. 3 angedeutet ist,

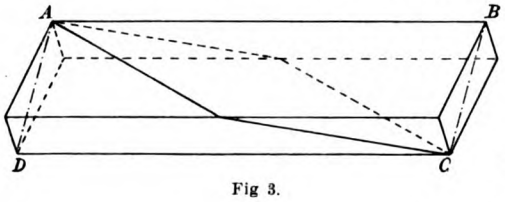


Fig 3.

würde nach Fig. 4, deren Bezeichnungen mit Fig. 3 gleichbedeutend sind, als Bedingung für senkrechte Endflächen zu setzen sein

$$S = \alpha + \gamma - 90^0 \qquad 3a)$$

oder, falls der Schnitt in Richtung der anderen Diagonale geführt wird,

$$S = 90 - (\gamma + \alpha). \qquad 3b)$$

Hieraus folgt weiter unter Berücksichtigung des Wertes von γ

$$S = \pm\ (26^0\ 16' - \alpha).$$

Die eine stark ausgezogene Linie in Fig. 1 kennzeichnet diese Abhängigkeit, während die gestrichelte Gerade die bei anderer Schnittweise (Prismen nach Lippich zweiter Form und Goerzsches Prisma) folgende Bedingung

$$\alpha = S$$

darstellt. Bei Übertragung der „Bedingungsgeraden" auf Fig. 2 treten naturgemäß Kurven auf.

Negative Werte des Achsenwinkels werden, obwohl einerseits wegen der größeren Schnittwinkel erwünscht, praktisch kaum in Frage kommen, da mit der Vergrößerung des Schnittwinkels fast allgemein eine Verkleinerung des Gesichtsfeldes verbunden ist. Die folgende Tabelle gibt die Größe des Gesichtsfeldes in Winkelgraden in Abhängigkeit von der Achsenlage und vom Brechungsindex der Kittschicht wieder.

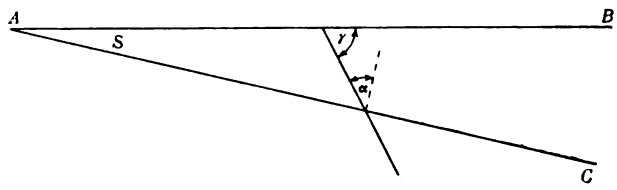


Fig. 4.

$\alpha =$	$-90°$	$-60°$	$-30°$	$\pm 0°$	$+20°$	$+60°$	$+90°$
$n = 1$	4,90	1,24	0,14	3,40	7,41	7,82	4,90
$n = 1{,}3$	4,89	0,30	2,23	10,59	14,74	11,27	4,89
$n = 1{,}4$	4,53	0,26	4,78	16,99	19,42	12,45	4,53
$n = 1{,}486$	3,96	0,10	10,57	41,82	27,33	14,28	3,96
$n = 1{,}5$	3,84	0,18	12,57	40,01	29,75	14,62	3,84
$n = 1{,}55$	3,29	0,88	33,31	32,86	33,31	16,27	3,29
$n = 1{,}6$	2,50	4,05	24,25	23,93	24,25	20,45	2,50
$n = 1{,}65$	0,96	9,20	8,95	8,83	8,95	9,20	0,96

Über eine Methode, die optischen Abbildungsgleichungen zu praktischen Durchrechnungsformeln umzugestalten.

Von

Dr. **Max Lange.**

Die Schuloptik schreibt die Gleichung für die Abbildung durch eine einfache, dünne Linse in der Form

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \qquad 1)$$

Dabei bedeutet, bei von links kommendem Licht, a den Objektabstand (positiv gerechnet, wenn das Objekt links von der Linse ist), b den Bildabstand (positiv gerechnet, wenn das Bild rechts von der Linse ist), beide Abstände auf den Linsenscheitel bezogen. f ist die Brennweite.

Für die schematische Durchrechnung durch ein System freistehender dünner Linsen ist die Vorzeichenfestlegung, weil sie die fortwährende Wiederholung des trivialen Gedankens erfordert, daß ein Bild auch als ein Objekt angesehen werden kann, nicht zweckmäßig.

Vielmehr schreibt man besser, unter Aufgabe einer nur in bestimmten Fällen vorhandenen Anschaulichkeit,

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \qquad 2)$$

wobei nun Objekt- bzw. Bildabstand positiv gerechnet werden, wenn sich Objekt bzw.

Bild rechts von der Linse befinden. Rein mathematisch wird niemand etwas dagegen einzuwenden haben, wenn man Gleichung 2) mit h multipliziert:

$$-\frac{h}{a}+\frac{h}{b}=\frac{h}{f}. \qquad 3)$$

Sieht man nun h als den Abstand von der Achse an, mit welchem ein vom Objekt kommender Lichtstrahl die Linse durchstößt, so ist offenbar

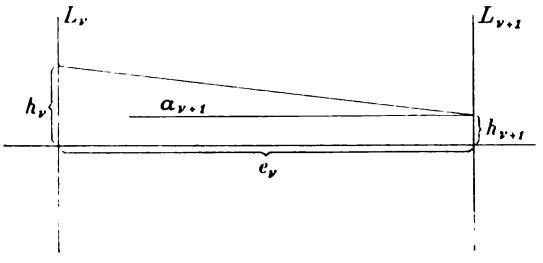
$$\frac{h}{a}=\operatorname{tg}\alpha, \qquad 4)$$

wenn α der Winkel des Lichtstrahls mit der Achse ist, der positiv gerechnet wird, wenn das Licht von oberhalb der Achse kommend sich dem Schnittpunkt mit dieser nähert bzw. nach dem Schneiden sich unterhalb von ihr entfernt. Führen wir für die Linse noch die Ordnungszahl ν ein, schreiben $\varphi=\frac{1}{f}$, berücksichtigen ferner, daß $\operatorname{tg}\alpha'_\nu=\operatorname{tg}\alpha_{\nu+1}$ ist (der Winkel nach der Brechung in üblicher Weise durch einen beigefügten Strich von dem vor der Brechung unterschieden), so lautet die Gleichung 4):

$$-\operatorname{tg}\alpha_\nu+\operatorname{tg}\alpha_{\nu+1}=h_\nu\varphi_\nu, \qquad 5)$$

oder

$$\operatorname{tg}\alpha_{\nu+1}=\operatorname{tg}\alpha_\nu+h_\nu\varphi_\nu. \qquad 6)$$



Der Übergang zur folgenden Linse ergibt sich durch Anschauung der Figur:

$$h_{\nu+1}=h_\nu-e_\nu\operatorname{tg}\alpha_{\nu+1}. \qquad 7)$$

Schreibt man noch allgemein

$$A_\lambda=\operatorname{tg}\alpha_\lambda, \qquad 8)$$

wobei man noch im Falle unendlich kleiner Neigungen des Lichtstrahls gegen die Achse unter den A die Winkel selbst verstehen kann, während bei endlichen Neigungen die ideale fehlerfreie Abbildung dargestellt wird, so hat man das Rekursionsformelnsystem

$$\left.\begin{aligned}A_{\nu+1}&=A_\nu+h_\nu\varphi_\nu\\ h_{\nu+1}&=h_\nu-e_\nu A_{\nu+1}\end{aligned}\right\} \qquad 9)$$

Der Wert von A_1 ist in vielen Fällen, wenn es sich nur um die Lage des ersten Objekts handelt, gleichgültig. Doch muß dann h_1 so errechnet werden, daß das Objekt wirklich den gewünschten Abstand hat. —

Das Vorstehende soll keineswegs eine gewaltige Neuentdeckung darstellen. Es ist nur gedacht als eine Art Taylorsystem für den optischen Rechner, der oft stunden- und tagelang rechnen muß und bei dem die Erleichterung des Rechnens, die er als angenehm empfindet, sich sehr bald als größere Geschwindigkeit zum Ausdruck bringen wird.

Daß auch der Theoretiker Vorteile hat, soll im folgenden am Beispiel des zwei- und dreiteiligen Systems gezeigt werden. Wir nehmen das Objekt im Unendlichen an und setzen

$$A_1=0$$
$$h_1=1.$$

Aus 9) ergibt sich

$$A_2 = \varphi_1$$
$$h_2 = 1 - e_1 \varphi_1$$
$$A_3 = \varphi_1 + \varphi_2 - e_1 \varphi_1 \varphi_2 = \frac{1}{F_2},$$

wenn F_2 die Brennweite des zweiteiligen Systems mit den Konstanten φ_1, φ_2, e_1 ist. Dessen Schnittweite ist $s_2' = F_2 (1 - e_1 \varphi_1)$.

Die Weiterrechnung ergibt

$$h_3 = 1 - e_1 \varphi_1 - e_2 \varphi_1 - e_2 \varphi_2 + e_1 e_2 \varphi_1 \varphi_2$$
$$A_4 = \varphi_1 + \varphi_2 - e_1 \varphi_1 \varphi_2 + \varphi_3 - e_1 \varphi_1 \varphi_3 - e_2 \varphi_1 \varphi_3 - e_2 \varphi_2 \varphi_3 + e_1 e_2 \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3$$
$$= \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 - e_1 \varphi_1 (\varphi_2 + \varphi_3) - e_2 \varphi_3 (\varphi_1 + \varphi_2) + e_1 e_2 \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 = \frac{1}{F_3},$$

wenn F_3 die Brennweite des dreiteiligen Systems ist. Dessen Schnittweite ist $s_3' = F_3 h_3$.

Referate.

Über asphärische Flächen in optischen Instrumenten.

Von Allvar Gullstrand, *Kungl Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 60. Bd. Nr. 1. 155 S* m. *10* Fig. i. Texte, Stockholm, Almgvist & Wiksells Boktryckeri-A.-B. 1919.

Das Ziel der Abhandlung ist, zu einer einfachen oder wenigstens aus einfachen Mechanismen zusammengesetzten Maschine zu gelangen, mit der asphärische Flächen verschiedener Art herstellbar sind. Wer die Schwierigkeiten des Schleifens und Polierens in der Praxis kennt, wird sicher den nachfolgenden Worten Gullstrands zustimmen: „. . . man wird wohl nicht fehlgehen, wenn man vorhersagt, daß ein wirklicher Aufschwung auf diesem Gebiete nur durch Methoden zu erreichen ist, die sowohl die praktische Herstellung mit einfachen mechanischen Mitteln, wie die rechnerische Behandlung mit elementaren mathematischen Mitteln gestattet."

Unter dem Abschnitt „I. Methoden" gibt Gullstrand zunächst eine Geschichte der nichtsphärischen Flächen. Kepler und Cartesius hatten schon die Bedeutung der nichtsphärischen Flächen erkannt. Die Umdrehungsflächen zweiten Grades und das Cartesische Oval boten Hilfsmittel, um die Aberration für achsensymmetrische Strahlenbüschel aufzuheben. Einfache und billige Herstellungsmethoden für optisch allgemein brauchbare nichtsphärische Flächen gibt es bis heute nicht. Zur Verbesserung der langbrennweitigen Objektive hat man früh ein empirisches Verfahren: „die lokale Retouche" angewandt, deren Zweck ebenfalls nur eine bessere Strahlenvereinigung in einem Achsenpunkt ist.

Bahnbrechend auf dem Gebiete wirkte Ernst Abbe; seine nichtsphärischen Umdrehungsflächen hatten zum Ziel eine bessere Strahlenvereinigung bei achsensymmetrischen und bei schiefen Büscheln. Die Abbeschen Flächen sind bei den Starbrillen (Katralgläsern) verwendet worden und dienen hier zur Erzielung einer Abbildung, bei welcher der Astigmatismus längs aller Blickrichtungen praktisch als gehoben anzusehen ist. Die Herstellung dieser Flächen ist nicht einfach, und daher ist der Preis für ein Katralglas etwa fünfmal so hoch wie für ein Punktalglas.

Nach einer Beschreibung der Herstellung der asphärischen Flächen nach der Abbeschen und anderen Methoden kommt Gullstrand zu dem Schluß, daß die Flächen, die beträchtlich von der Kugelgestalt abweichen, in einer Maschine vorgeschliffen (vorgefräst) werden müssen. Die Rohbearbeitung wird mit einer Maschine zweifellos gelingen, dabei darf allerdings die weitere Feinbearbeitung nicht unterschätzt werden. Ob auch diese maschinell möglich ist, das können erst die praktischen Versuche zeigen.

Gullstrand nennt die in der Abhandlung beschriebene Methode „Duplexmethode" und seine neuen Maschinen „Duplexmaschinen", und zwar deshalb, weil diese Maschinen zwei verschiedene Mechanismen enthalten, die mit A- und B-Mechanismus bezeichnet werden.

Der A-Mechanismus stellt für jedes Flächenelement der asphärischen Fläche den zugehörigen Krümmungsradius ein. Näherungsweise kann eine solche Einstellung durch einen Schubkurbelmechanismus erfolgen.

Der B-Mechanismus ist zwangläufig mit dem A-Mechanismus verbunden und bewirkt, daß der Krümmungsradius der asphärischen Fläche in die vorgeschriebene Richtung der Normale des betreffenden Flächenelements gebracht wird. Auch dies läßt sich genähert durch Anwendung von Kurbel- oder Sehwinggetrieben erreichen.

Bei Anwendung von Kraftschluß entspricht dem Kurbelgetriebe eine Kreisführung, an deren Stelle auch eine andere Kurvenführung treten kann. In Frage kämen hierbei die Kurven zweiten Grades und Kreisevolventen, da Zylinder mit solchen Grundkurven kinematisch leicht herstellbar sind.

Als schleifende Fläche kommt im allgemeinsten Falle, namentlich bei konkaven Duplexflächen, eine rotierende torische Fläche in Anwendung; der Rotationsmittelpunkt beschreibt dann die Maschinenkurve der Duplexmaschine; sie ist eine Parallelkurve zur Meridianlinie der Duplexfläche und wird Duplexkurve genannt.

Unter Teil „II. Neue Herstellungsmethoden" beschreibt Gullstrand zunächst einfache Maschinen zum Schleifen der konvexen Umdrehungsflächen zweiten Grades. Die Fußpunktkurven der Kurven zweiten Grades mit einem Brennpunkt als Lotpunkt sind Kreise; diese Eigenschaft der Kurven führt zu einfachen Maschinenkonstruktionen, bei denen die schleifende Fläche eine Ebene ist.

Anschließend hieran wird die Duplexmethode eingehend behandelt, nach der auch konkave Flächen hergestellt werden können.

Die Gleichung der eigentlichen Duplexkurve lautet in Polarkoordinaten:

$$\frac{R - R_0}{R} = C \cdot \varphi(\alpha);$$

$$f(\alpha) = c \cdot \varphi \cdot \beta .$$

Die Konstanten C, c in der Gleichung der Maschinenkurve heißen Maschinenkonstanten.

Gleichung 1 bestimmt den A-Mechanismus, Gleichung 2 den B-Mechanismus und seine Abhängigkeit (Zwangläufigkeit) vom A-Mechanismus.

Neben den eigentlichen Duplexkurven führt Gullstrand noch uneigentliche Duplexkurven ein, deren Gleichungen folgende Form haben:

$$\frac{R - R_0}{R} = C_0 \cdot \varphi(\alpha) + C_1 \cdot \varphi(\beta);$$

$$f(\alpha) = c \cdot \varphi \cdot \beta .$$

Die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Duplexmethode werden eingehend diskutiert und am Schlusse des II. Teiles werden die zusammengesetzten Duplexmaschinen kurz besprochen, bei denen eine geradlinige Bewegung durch Summation der Effekte zweier oder mehrerer Einzelmechanismen entsteht. Je nachdem eine solche Zusammensetzung im A- bzw. B-Mechanismus stattfindet, wird die Duplexmaschine zur A- bzw. B-Triplexmaschine.

Der III. Teil der Arbeit behandelt die Ermittlung der Maschinenkonstanten. Die theoretisch vorgeschriebene asphärische Fläche mit bestimmten optischen Eigenschaften, z. B. eine Abbesche Fläche von der Gleichung:

$$r = r_0 + \varkappa \cdot r_0^3 \varphi^4 + \lambda \cdot r_0^5 \varphi^6 + \ldots$$

soll durch eine Duplexfläche ersetzt werden, die in bezug auf ihre optische Wirkung praktisch der theoretisch bestimmten asphärischen Fläche hinreichend nahe kommt. Mathematisch kann man das Problem so formulieren: die beiden Flächen müssen eine zentrische Oskulation von vorgeschriebener Ordnung und mehrere exzentrische Oskulationen von ebenfalls vorgeschriebener Ordnung eingehen. Erreichbar scheint eine gleichzeitige zentrische Oskulation vierter Ordnung und eine exzentrische Oskulation zweiter Ordnung, allerdings erst mit einer zusammengesetzten Duplexmaschine.

Im IV. Teil der Abhandlung „Das Rechnen mit den asphärischen Flächen" werden zunächst Duplexflächen berechnet, die eine zentrische Oskulation achter Ordnung mit den Flächen zweiten

Grades und dem Cartesischen Oval eingehen. Auch wird an einem Beispiele der Weg gezeigt, der zur Ermittlung der Maschinenkonstanten führt, wenn eine exzentrische Oskulation bestimmter Ordnung erreicht werden soll.

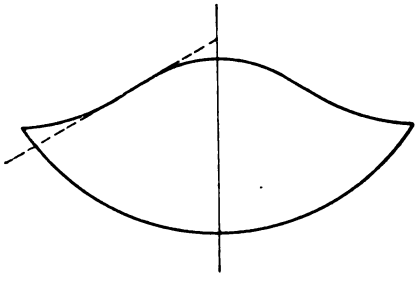
Hieran anschließend werden die Methoden der Durchrechnung angegeben, auch für windschiefe Strahlen.

Der Teil V enthält: „Beispiele der Anwendung von Duplexflächen."

Zuerst wird eine Duplexfläche ermittelt, welche das aberrationsfreie (aplanatische) Hyperboloid praktisch ersetzen kann. Ein recht befriedigendes Resultat wurde bereits mit der einfachsten Duplexmaschine erzielt; die Gleichung der Maschinenkurve nahm hierbei folgende Gestalt an:

$$R - R_0 = c_0\ (1 - \cos\alpha);$$
$$\sin\alpha = c\,(1 - \cos\beta).$$

Demnächst behandelt Gullstrand eine aberrationsaufhebende Duplexfläche mit einem Wendepunkt; als Beispiel ist die einfache Linse gewählt mit dem Öffnungsverhältnis 2 : 1, die für die Vergrößerung — 1 aberrationsfrei abbildet, und bei der für den Randstrahl ($u_1 = 26{,}6^0$) die Sinusbedingung erfüllt wird. Die eine Fläche der Linse ist sphärisch, die zweite Fläche ist eine asphärische Fläche, deren Meridiankurve ein Paar Wendepunkte hat (vgl. Figur).



Eine Linse mit einer derartigen Fläche finden wir schon bei Huygens in seiner „Abhandlung über das Licht" (Ostwalds Klassiker der Exakten Wissenschaften Nr. 20). Im letzten Beispiel wird eine aus einer einfachen Linse bestehende Lupe berechnet mit einer orthoskopisch und anastigmatisch bilddehnenden Duplexfläche. Die Beispiele sind weniger mit Rücksicht auf einen praktischen Zweck gewählt, sie sollen hauptsächlich die vielseitige Anwendbarkeit der Duplexmethode zeigen.

Die Schlußworte des Verfassers sind: „Die praktisch-technischen Vorversuche hatte ich an kleinen Maschinen schon in der ersten Hälfte des Jahres 1914 beendet. Das Ergebnis derselben war, daß weder die Methode der Schleifung von Flächen zweiten Grades noch die Duplexmethode auf ernste Schwierigkeiten stößt, und im Juli 1914 wurde auch mit einer großen ausländischen Firma vereinbart, daß zunächst eine für den Betrieb berechnete Duplexmaschine unmittelbar gebaut werden sollte, um voraussichtlich in einem halben Jahre in Gebrauch genommen werden zu können. Ursache, daß nun die praktisch-technischen Erfahrungen nicht gleichen Schritt mit der Entwicklung der Theorie halten konnten, ist der Weltkrieg." *Sonnefeld.*

Einige Versuche und Bemerkungen zur Farbenlehre. Zur Kenntnis des Purkinjeschen Phänomens.

Von Franz Exner. *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **127.** *S. 1829. 1918 und* **128.** *S. 71. 1919.*

Die Besprechung der vorliegenden Arbeit rechtfertigt sich, weil sie die Grundlagen der photometrischen und spektrometrischen Untersuchungen betrifft. Der Verf. rechnet darin mit der Heringschen Farbenlehre ab. Während Helmholtz die Dreifarbentheorie oder Dreifasertheorie gegeben und dadurch eine reinliche Scheidung zwischen objektiven und subjektiven Vorgängen geschaffen, indem er die physikalischen und physiologischen Vorgänge analysierte, die die psychischen Eindrücke auslösen und bedingen, wird in der von Hering aufgestellten Theorie der Gegenfarben der Begriff der Helligkeit im üblichen Sinne des Wortes als einer selbständigen Qualität der Farbenempfindungen vollständig negiert. Er bezeichnet Weiß, Gelb und Rot als Helligkeitsempfindungen, Schwarz, Blau und Grün als Dunkelheitsempfindungen. Es wird von ihm also Weiß und Schwarz den Farben gleichgestellt und also weiter behauptet, daß auch Schwarz durch Licht von der Intensität gleich Null eine Gesichtsempfindung auslöse, ferner daß die verschiedenen Mischungen von Schwarz, und Weiß die verschiedenen Abstufungen des Grau nicht Intensitätsunterschiede, sondern Farbenunterschiede darstellen, indem man in jedem Grau das darin ent-

haltene Schwarz und Weiß empfinde. Er definiert deshalb jedes Grau durch das Verhältnis der in ihm enthaltenen Weißempfindung zur Schwarzempfindung.

Eine solche mathematische Beziehung ist für subjektive Empfindungen unstatthaft, sagt der Verf. und er führt dazu aus, daß wenn eine Fläche durch eine Kerze, eine daneben liegende durch zehn Kerzen beleuchtet ist, das betrachtende Auge die eine wohl als heller empfindet als die andere, aber niemals das Verhältnis der beiden Helligkeiten. Das kann nur dadurch ermittelt werden, daß auf physikalische Weise beide Flächen gleich hell gemacht werden, indem man die hellere Beleuchtung durch größere Entfernung der Lichtquelle, durch eine Sektoren-Scheibe oder durch Nikols herabsetzt und nachsieht, welche Lichtschwächung dabei stattgefunden hat.

Nach Hering müßte die Zumischung von Weiß oder Schwarz zu einer Farbe ähnliche qualitative Aenderungen der Farbe hervorrufen. Das ist aber nicht der Fall. Mischt man auf dem Farbenkreisel Schwarz zu einer Farbe, so wird die Intensität herabgesetzt, mischt man Weiß hinzu, so wird der Sättigungsgrad der Farbe verändert. Exner weist das mittelst eines, von ihm als Polarimeter bezeichneten einfachen Apparates nach. Am Ende eines Rohres sind zwei quadratische Oeffnungen angebracht, im Rohre befindet sich ein doppeltbrechendes Rochonsches Prisma in solcher Entfernung von den Oeffnungen, daß zwei senkrecht gegeneinander polarisierte Flächen unmittelbar aneinander stoßen. Am Okularende des Rohres ist ein an einem Teilkreise drehbares Nicolsches Prisma angebracht. Mit dieser Vorrichtung wird ein Farbenkreisel betrachtet, der innen die reine Farbe hat, außen eine Mischung derselben mit Schwarz oder Weiß. Wird Schwarz hinzugemischt, so kann durch Drehung des Nikols völlige Gleichheit der beiden Felder hergestellt werden, bei Zumischung von Weiß aber nicht.

Auf die einzelnen ausführlichen Versuche des Verfahrens mittelst des Farbenkreisels und seines Polarimeters kann hier nicht eingegangen werden. Seine Versuche weisen nicht nur nach, daß wenn eine Farbe mit Weiß und Schwarz gemischt wird, sich die Helligkeiten der Komponenten addieren, sondern daß solches auch geschieht bei der Mischung verschiedener Farben auf dem Farbenkreisel, wie es die Helmholtzsche Theorie fordert. Dagegen ist nach Meinung des Verfassers auf Grund seiner Versuche kein Anlaß, der Heringschen Annahme einer spezifischen Helligkeit der Farben, also einen aufhellenden oder verdunkelnden Einfluß verschiedener Farben eine Berechtigung zuzusprechen.

In der zweiten Veröffentlichung beschäftigt sich der Verf. mit dem Purkinjeschen Phänomen. Dieses äußert sich bekanntlich darin, daß zwei verschieden gefärbte Pigmente, am besten rot und blau, die bei Tagesbeleuchtung ungefähr gleich hell erscheinen, bei stark herabgesetzter Beleuchtung ihr Helligkeitsverhältnis dahin verändern, daß das Blau heller erscheint als das Rot. Dieses Phänomen wird zunächst dadurch erklärt, daß bei der Dämmerung die Erregung der Stäbchen der Netzhaut die Überhand gewinnt gegenüber derjenigen der Zapfen, die bei Helligkeit allein wirksam sind. Dem ist die Ansicht von A. König entgegengehalten worden, daß auch bei den höchsten Lichtstärken das Purkinjesche Phänomen noch wirksam sei. Dieses würde zur Folge haben, daß einer bestimmten Farbe überhaupt keine angebbare Helligkeit mehr zukommt.

Die in der ersten Arbeit des Verfassers mitgeteilten Versuchsergebnisse haben aber gezeigt, daß für jede Farbe eine bestimmbare Konstante vorhanden ist, durch welche ihre erhellende Wirkung auch in einem Gemische festgelegt ist, der Verf. nennt diese Konstante den Weißwert der Farbe, d. h. das Verhältnis ihrer erhellenden Wirkung zu derjenigen einer gleichen Menge Weiß am Farbenkreisel bei Beleuchtung mit weißem Licht.

Zur Erhärtung seiner Ansicht führte der Verf. folgenden Versuch aus. Die rotierende Scheibe des Farbenkreisels, die mit einer Halbwattlampe von 2500 Kerzen aus 2 m Entfernung beleuchtet wurde, enthielt in einem inneren Kreis 360 Grad Farbe, in einem äußeren 180 Grad Farbe und 180 Grad Schwarz. Es müßte also das Helligkeitsverhältnis zwischen beiden 1 : 2 sein. Das stellte der Verf. mit seinem oben beschriebenen Polarimeter fest für Rot, Grün und Blau, wobei bei fünf Einstellungen der Drehungswinkel des Nikols nur um 0,6 Grad variierte. Damit ist einerseits die Gültigkeit des Talbotschen Gesetzes auch für beliebige Farben bewiesen und es verträgt sich damit nicht ein etwaiges Vorhandensein des Purkinjeschen Phänomens beim Helligkeitssehen. Auch bei verschieden starker Beleuchtung des inneren und des äußeren Kreises in

einen vorher genau ermittelten Verhältnis ergab sich Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung. Es erschien nicht, wie bei einem Vorhandensein des Purkinjeschen Phänomens zu fordern sein würde für Rot der äußere, für Blau der innere Ring heller, so daß also bei Rot ebenso wie bei Blau der halbe Sektor bei doppelter Beleuchtungsstärke mit demselben Wert in die Farbengleichung eingeht wie der ganze Sektor bei einfacher Beleuchtung.

Dasselbe Ergebnis erhielt der Verf. bei Mischung von Farben mit Weiß und bei der Mischung verschiedener Farben miteinander.

Es verlohnt sich, noch kurz darauf einzugehen, wie der Verf. das Zustandekommen der entgegenstehenden Ansicht von A. König erklärt. König verglich in einem Spektrophotometer mit Vieroedtschem Doppelspalt die Helligkeit eines konstant gehaltenen mittleren Grün ($\lambda = 535\,\mu\mu$) mit derjenigen einer in der anderen Hälfte des Gesichtsfeldes erzeugten anderen Farbe; die Helligkeit der letzteren wurde durch Regulierung der Weite der entsprechenden Eintrittsspalte derjenigen des Grün gleichgemacht. Dadurch erhielt König Verhältniszahlen für die verschiedenen Farben des Spektrums. Bei Steigerung der Helligkeit des grünen Lichtes fand König diese Verhältniszahlen in dem Sinne verändert, daß bei höherer Intensität das Rot heller, das Blau dagegen dunkler erschien. Exner hält nun die Deutung, welche König seinen Versuchsergebnissen gab, einesteils dadurch nicht sicher, weil bei unmittelbarer Vergleichung verschiedenfarbiger Felder eine erhebliche Unsicherheit hineinspielt, hauptsächlich aber weil bei sehr gesättigten Farben die Brillanz der Farbe von Einfluß auf die Beurteilung ihrer Helligkeit ist, oder wie Helmholtz sich über denselben Vorfall äußert, weil es sich bei verschiedenfarbigen Helligkeitsvergleichungen nicht um Vergleichung *einer* Größe, sondern um das Zusammenwirken von zweien, Helligkeit und Farbenglut, handelt, für die keine einfache Summe gebildet und die auch nicht wissenschaftlich definiert werden kann.

Der Verf. glaubt durch seine Versuche, in denen immer nur ein photometrischer Vergleich von verschiedenen Helligkeitsstufen einer und derselben Farbe vorgenommen wurde, die Anschauung von A. König widerlegt zu haben. *H. Krüss.*

Das Graukeilphotometer im Dienste der Pflanzenkultur.

Von Walter Hecht. *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **127.** *S. 2283. 1918.*

Der Verf. will mit dem Graukeilphotometer eine neue Methode zur Messung der Lichtintensität einführen. Zugrunde liegt der schon vielseitig benutzte Gedanke, den Grad der Schwärzung des Chlorsilberpapiers, welches mit einem absorbierenden Körper bedeckt ist, dessen Absorption von einem zum anderen Ende zunimmt, als Maß des auffallenden Lichtes zu nehmen. Während reines weißes Chlorsilberpapier nur durch die kurzwelligen Strahlen geschwärzt wird, also nur die stärker brechbaren Strahlen dadurch gemessen werden können, macht der Verf. darauf aufmerksam, daß das bereits verfärbte Chlorsilberpapier eine nicht unbedeutende Farbenempfindlichkeit für das sichtbare Spektrum besitzt, so daß bei Benutzung tieferer Schwärzungen auch dieses Licht mitgemessen wird.

Das bisher zu derartigen Messungen benutzte, von M. W. Vogel angegebene Skalenphotometer besteht aus stufenförmig übereinander gelegten dünnen Papierlagen. Es besitzt aber einen zu hohen durchschnittlichen Fehler von $\pm$ 20%. Der Verf. empfiehlt deshalb das Graukeilphotometer und entwickelt zunächst die theoretischen Grundlagen dieser Vorrichtung, wobei er als Keilkonstante bezeichnet den Logarithmus des Verhältnisses der Lichtstärke des auffallenden zu derjenigen des hindurchgegangenen Lichtes bei der Dicke von 1 cm, der der durchstrahlbaren Dicke der Schrift proportional ist.

Die Graukeile wurden nach den von v. Hübl verbesserten Goldbergschen Verfahren hergestellt, indem die Gelatine anstatt mit Lampenschwarz mit flüssiger Perltusche von Günther & Wagner gefärbt wurde, deren etwas bräunliche Farbe mit Toluidinblau und Karmin neutralisiert wurde. Unter dem Graukeil befand sich ein Zelluloidstreifen mit einer 2 mm-Skala, die mit kopiert wird. Vor der Anwendung muß die Keilkonstante photometrisch bestimmt werden. Zur Bestimmung des Grades der Schwärzung sucht man den letzten noch sichtbaren Teilstrich der mitkopierten Teilung auf oder man vergleicht die entstandene Schwärzung mit einer vorhandenen

Normalschwärzungsskala. Letztere Methode ist genauer, setzt aber eine bestimmte Schulung des Auges voraus.

Der Verf. machte ausgedehnte Versuche mit dem Graukeilphotometer sowohl im Freien als im Gewächshause und verspricht sich aus dem Vergleich beider, welcher die bedeutende Lichtschwächung durch die Glasfenster und die Schattenwirkung des Rahmenholzes zeigen, eine Lösung der Frage nach der günstigsten Anlage der Gewächshäuser und Mistbeetfenster in bezug auf Neigung und Richtung der Fenster und andere die Wirkung des Außenlichtes beeinträchtigende Umstände. Wegen der Einzelheiten des Verfahrens muß auf die sehr ausführliche Veröffentlichung verwiesen werden. *H. Krüss.*

Bücherbesprechungen.

Dr. H. Lehmann, Die Kinematographie. 2. Aufl. von Dr. W. Merté. Bd. 358 der Sammlung: Aus Natur und Geisteswelt. 104 S. m. 68 Abb. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner, 1919.

In der vorliegenden 2. Auflage des Buches hat es der Verfasser verstanden, die Darstellung der Kinematographie dem heutigen Stand der Technik und Wissenschaft anzupassen. Zugunsten des technischen Teiles des Buches sind einige Abschnitte der ersten Auflage, z. B. die Systematik der Erfindungen, stereoskopische Kinematographie u. a. gänzlich fortgefallen und die psychologischen und physiologischen Grundlagen im stark gekürzt worden. Dagegen haben neuere Apparate Aufnahme gefunden und die Röntgen- und ballistische Kinematographie werden eingehender als früher berücksichtigt. Ebenso wird zum Schluß die wirtschaftliche Bedeutung der Kinoindustrie und die Kinoreform behandelt.

Als Mangel muß es bezeichnet werden, daß die Zeitlupe mit Stillschweigen übergangen worden ist. Ebenso fehlt im Anschluß an die ballistische Kinematographie der Vollständigkeit wegen der Ballistograph von Duda-Wien.

In jeder Hinsicht aber ist das Buch geeignet, sowohl den Praktiker als Wissenschaftler mit den Grundlagen und Anwendungen der Kinematographie vertraut zu machen. *Vg.*

W. Demuth, Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik unter Mitarbeit von K. Bergk und H. Franz. 8°. IX, 136 S. m. 76 Textabb. Berlin, Julius Springer, 1920. Brosch. M. 12,—, geb. 14,40 M.

Das Buch erfüllt seine zweifache Aufgabe. Einmal dient es dazu, dem in der Praxis stehenden Ingenieur eine ausführliche Anleitung zur Prüfung der Isolierstoffe zu geben, und zweitens gibt es eine Zusammenstellung der hauptsächlichsten Isolierstoffe der Elektrotechnik unter Angabe ihrer Form und Verarbeitungsmöglichkeit. Und zwar sind sowohl für feste wie flüssige Isolierstoffe die Prüfungsmethoden in einer für die Praxis genügend ausführlichen Weise beschrieben. Außerdem sind die vom Verband Deutscher Elektrotechniker vorgeschriebenen Prüfungen ausführlich behandelt und in den schwierigen Fällen ist auf die einschlägige Literatur verwiesen. Obwohl das Buch im wesentlichen nur das Isoliermaterial der Elektrotechnik behandelt, so finden sich doch auch Angaben über Schmieröle für elektrische Maschinen. Leider sind diese gänzlich veraltet und es ist in keiner Weise den neuen Anschauungen über Lagerreibung Rechnung getragen. Wenngleich dem Buch ein Inhaltsverzeichnis beigegeben ist, so macht sich doch das Fehlen eines ausführlichen, alphabetischen Sachverzeichnisses gerade bei einem zum Nachschlagen geeigneten Werke unangenehm bemerkbar.

Abgesehen von diesen Mängeln bildet das Buch eine wertvolle Bereicherung der elektrotechnischen Literatur. *Vg.*

— Nachdruck verboten. —

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig

JUL 15 1921

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

GENERAL LIBRARY
JUN 15 1921
UNIV. OF MICH.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
V. v. Lang in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

5. Heft: Mai.

Inhalt:

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1920 (Fortsetzung von S. 107) S. 129. — Dr. Hans Schulz, Zur Theorie der Polarisationsprismen VII: Die Bestimmung der Gesichtsfeldgröße und ihrer Schwankungen S. 144. — Dr. A. Wetthauer, Eine Methode zur Prüfung von photographischen Objektiven durch streifende Abbildung S. 148. — Dr. Guido Moeller, Organische Flüssigkeiten zum Füllen hochgradiger Fabrikthermometer S. 152.

Referate: Über den Wert extrafokaler Aufnahmen mit parabolischen Spiegeln S. 156. — Über terrestrische Refraktion S. 157. — Bestimmung der Dicke der Ölschicht bei Lagern S. 157. — Ausdehnbarkeit und Thermoelastizität der Nickelstahle. (Die Elinvar-Spiralfeder) S. 158.

Bücherbesprechungen: G. Berndt, Kompendium der Experimentalphysik S. 158. — Curt Sachs, Handbuch der Musikinstrumentenkunde S. 158. — M. v. Rohr, Die binokularen Instrumente S. 158. — F. Paul Liesegang, Wissenschaftliche Kinematographie S. 159. — Hager-Mez, Das Mikroskop und seine Anwendung S. 160. — G. Berndt, Radioaktive Leuchtfarben S. 160. — H. Geiger und W. Makower, Meßmethoden auf dem Gebiete der Radioaktivität S. 160. — W. v. Krukowski, Vorgänge in der Scheibe eines Induktionszählers und der Wechselstromkompensator als Hilfsmittel zu deren Erforschung S. 160.

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener [6147]
Präzisionsmechanischen Werkstätten

G. KESEL
G. m. b. H.
in Kempten i. Allg.

Gravier-Apparat
zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

Präzisionsoptik

Objektive und Okularlinsen

Prismen, Dachprismen, Sextantspiegel, Planparallelplatten. Versilberung optischer Gläser 96,1% Refl. lt. Prüfung d. Reichsanstalt, Oberflächenspiegel, Fadenkreuze, Mikrometer, Netzteilungen

J. D. Möller, Wedel b. Hamburg
Gegründet 1864

Patentanwalt A. Kuhn, Dipl. Ing. BERLIN SW 61 Gitschinerstr 106

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,
RATHENOW a. H.

WARUM

haben Sie sich bei Ihrem Bedarf an Büchern bisher noch nie an mich gewandt? Ich beschaffe Ihnen

ALLE

Werke, vergriffene auf Wunsch auch antiquarisch zu angemessenen Preisen. Bedenken Sie, daß die

BÜCHER

bei der jetzigen allgemeinen Teuerung in guter Ausstattung noch die billigsten Erzeugnisse sind und daher auch als Geschenk die dankbarste Anerkennung finden. Wünschen Sie ein Verzeichnis

UMSONST?

So schreiben Sie noch heute an:

KARL W. GRUHL,
Versandbuchhandlung,
LEIPZIG 21, *Scharnhorststr. 63.*

Komplette Einrichtungen mit allem Zubehör
für
Glasbläsereien, -teilereien, -schleifereien, für Instrumentenfabriken u. Laboratorien
liefern
GOTTHOLD KÖCHERT & SÖHNE, ILMENAU 4, Thür.
[6108] **Spezialfabrik**
für Maschinen und Apparate für Glasbearbeitung

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. H. **Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **Mai 1921.** Fünftes Heft.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1920.

(Fortsetzung von Seite 107.)

Abteilung II.

Unterabteilung IIa.

1. Permeabilität und Hysteresis bei schnellen Schwingungen[1]).

Es wurden bisher nur Vorbereitungen für die Messungen getroffen, die sich hauptsächlich auf die Frage bezogen, durch welche Anordnungen man bei sinusförmigem Verlauf der Feldstärke die Abweichung der Induktion von der Sinusform genügend genau feststellen kann. Die genaue Kenntnis dieser Abweichung ist notwendig, wenn man die Abhängigkeit der Permeabilität von der Frequenz und den Energieverlust im Ferrikum ermitteln will, worüber quantitative Messungen bisher nicht möglich waren, obwohl diese Fragen für die Hochfrequenztechnik von größter Bedeutung sind.

Die eigentlichen Messungen konnten noch nicht begonnen werden, da es noch nicht möglich war, die erforderlichen Apparate zu erhalten.

2. Polarisationskapizität wässeriger Elektrolyte bei Hochfrequenz[2]).

Die Messung der Polarisationskapazität wässeriger Elektrolyte ist bis jetzt nur bis zu Frequenzen von etwa 10000/sec durchgeführt. Es ist aber besonders im Hinblick auf die Anwendung elektro-medizinischer Apparate von Interesse, diese Größe auch bis zu den höchsten jetzt erreichbaren Frequenzen zu untersuchen. Hierfür sind verschiedene Methoden in Aussicht genommen. Die Untersuchung ist noch im Stadium der Vorversuche, z. T. macht sich der Mangel an Apparaten hindernd bemerkbar.

3. Verhalten von Permutit[3]).

Die Untersuchung der Leitfähigkeit von Mischungen von Kalium- und Blei-, sowie Kalium- und Kadmium-Permutiten wurde zu Ende geführt, die von Lithium-, Kadmium- und Kalium-Chrom-Permutiten daran angeschlossen. Die Ursache der starken Abweichung der Leitfähigkeit der Gemische von der Mischungsregel wurde gefunden und eine Formel zur Berechnung der Leitfähigkeit der Mischungen aufgestellt, die mit den Beobachtungen gut übereinstimmt. Die Versuche sind veröffentlicht (Anhang 2, Nr. 32). Für eine größere Anzahl Permutite wurde das Molvolumen ermittelt. Aus dem Molvolumen ergibt sich das Kationenvolumen der Basen der Permutite, wenn das Anionenvolumen bekannt ist. Die Versuche sind nahezu abgeschlossen. Bei diesen Versuchen wurden zur Orientierung eine Anzahl Basengleichgewichte im Permutit und die zugehörigen Leitfähigkeiten der Permutitmischungen gemessen. Die Ergebnisse werden veröffentlicht.

4. Elektrolytische Ventilwirkung[3]).

Die systematische Durcharbeitung des Gebietes wurde fortgesetzt. Die Erscheinung der Formierung wurde am Tantal gründlich untersucht, wobei sich einige neue Gesetzmäßigkeiten ergaben. Die Versuche werden weitergeführt.

5. Metallkristalle[3]).

Da die Untersuchung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit einheitlicher Metall-

[1]) Jaeger, Meißner.
[2]) Jaeger, v. Steinwehr.
[3]) Günther Schultze.

kristalle von großem theoretischen Interesse ist, wurden Versuche zur Herstellung großer Metallkristalle begonnen, nachdem eine Umfrage in der Industrie nach brauchbaren reinen Kristallen ergebnislos geblieben war.

6. Versuche zur Gasverflüssigung durch Leistung elektrischer Arbeit[1]. In dem Höllriegelskreuther Werk der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen wurden in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Pollitzer dieser Gesellschaft Ausströmungsversuche mit einem Gemisch von flüssiger und dampfförmiger Luft angestellt. Die Versuchsanordnung war ähnlich wie bei den früher beschriebenen Versuchen mit ausströmendem Petroleum und nassem Wasserdampf. Der ausströmende Strahl, die Stellung der Spitze und der Hilfselektroden konnten durch ein unversilbertes Vakuummantelgefäß hindurch beobachtet werden. Die flüssige Luft wurde einem großen Sauerstoffgewinnungsapparat entnommen, stand unter einem Druck von 120 bis 160 Atm. und wurde an der Ausströmungsstelle auf 1 Atm. entspannt. Die durchströmende Menge betrug, in gasförmigem Zustand bei Zimmertemperatur gemessen, 3 bis 8 m^3 stündlich. Auf dem Wege zum Versuchsapparat verdampfte ein Teil der flüssigen Luft; das Verhältnis von Dampf- zu Flüssigkeitsmenge konnte durch Vorschalten einer in flüssiger Luft liegenden Kondensationsspirale unmittelbar vor dem Eintritt in den Versuchsapparat verändert werden. Der Ausströmungsquerschnitt wurde durch Heben und Senken der zur Spitzenentladung dienenden Nadel einreguliert.

Das Ergebnis der Versuche war folgendes: Die Aufladung der Tröpfchen flüssiger Luft durch Spitzeneinwirkung war bei Verwendung einer nichtisolierten Hilfselektrode, die auf 10 bis 20000 Volt gehalten wurde, möglich (in entgegengesetztem Sinn der Ladung der Hilfselektrode); bei Verwendung einer durch Glas völlig isolierten Hilfselektrode versagte die Spitzenwirkung, offenbar zufolge Polarisation der Hilfselektrode. Auch im ersteren Fall aber konnte bisher nur ein sehr geringer Bruchteil der kinetischen Energie der flüssigen Luft in elektrische Arbeit übergeführt werden, wobei die Aufladespannung der Auffangelektrode etwa 1000 V betrug. Der Grund für den schlechten Wirkungsgrad ist offenbar vor allem darin zu suchen, daß nur ein sehr kleiner Teil der Flüssigkeitströpfchen aufgeladen wird, nämlich nur diejenigen, die nahe genug an der Spitze vorbeikommen. In dieser Hinsicht liegen die Verhältnisse bei den angewendeten hohen Drucken wegen der großen Strömungsgeschwindigkeit und der starken Verbreiterung des Strahls nach der Ausströmung besonders ungünstig. Es ist beabsichtigt, die Versuche nochmals aufzunehmen, falls einige in der Reichsanstalt anzustellende Vorversuche mit spaltförmiger Düse und einer großen Zahl von Spitzen eine wesentliche Verbesserung der Elektrisierung erwarten lassen.

7. Thermische und elektrische Leitfähigkeit der Metalle[2]. Die Versuche mit Lithium wurden zu Ende geführt. Das Lithium wurde in einer später abgepumpten Kohlensäureatmosphäre zwischen amalgamierte Kupferbacken geklemmt, wodurch sich blanke Oberfläche und guter elektrischer Kontakt erzielen ließ, der ohne Amalgamierung wegen unvermeidlicher, nicht leitender Oberflächenschichten nicht zu erreichen war.

Für das untersuchte Kahlbaumsche Lithium steigt der Wert von $\lambda : \varkappa T$ (λ = thermische, $\varkappa$ = elektrische Leitfähigkeit), der bei Zimmertemperatur ein ähnlicher wie bei den früher untersuchten schwereren Metallen ist, bei Temperaturerhöhung auf 100° C um 15 Prozent an, so daß für Lithium das Lorenzsche Gesetz $\lambda : \varkappa T = constans$ schon zwischen 0 und 100° C keineswegs erfüllt ist. Unterhalb 0° C fällt der Wert von $\lambda : \varkappa T$ weiter erheblich ab. Der Wert von λ ist für das untersuchte Lithium zwischen 0 und 100° C nahezu konstant, wächst unterhalb 0° C aber erheblich an. Der Abfall des elektrischen Widerstandes ist bis hinab zu 90° abs. viel stärker als bei Kupfer, in noch tieferen Temperaturen aber erheblich geringer, woraus auf nicht genügende Reinheit des Kahlbaumschen Lithiums zu schließen ist. Falls die Reinigung des Lithiums in der Reichsanstalt gelingt, sollen die Versuche später wiederholt werden, vor allem um festzustellen, ob sehr reines Lithium etwa schon bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs entsprechend seinem hohen $\beta\nu$-Wert überleitend wird. Die bisherigen Ergebnisse sind veröffentlicht (Anhang 2, Nr. 30).

8. Hochfrequenztelefone[2]. Es wurden Kondensatortelefone und Spulentelefone untersucht und Formeln für die auftretenden Kraftwirkungen und die Verstärkung bei Verwendung einer überlagerten Hilfswelle auf-

[1]) Meißner.
[2]) Meißner.

gestellt. Das Kondensatortelefon besteht aus einem, in einen Schwingungskreis eingeschalteten Kondensator, der aus einer Telefonmembran und einer dem mittleren Teil derselben nahe gegenüberstehenden Metallplatte gebildet wird; das Spulentelefon besteht beispielsweise aus einer Primärspule, die im Schwingungskreis liegt, und einer eine einzige Windung besitzenden Sekundärspule, von der ein Teil als Telefonmembran ausgebildet ist. Das Kondensatortelefon ist dem Spulentelefon überlegen. Das letzte hat den prinzipiellen Nachteil, daß Verluste durch Joulesche Wärme in der klein zu haltenden Telefonspule unvermeidlich sind. Die bisherigen Untersuchungen sind veröffentlicht (Anhang 2, Nr. 31).

9. Schallgeschwindigkeit in Gasen[1]).

Auf Anregung des Herrn Einstein hin wurde die Untersuchung der Schallgeswindigkeit in teilweise dissoziierten Gasen in Angriff genommen, um aus der Änderung der Schallgeschwindigkeit mit der Frequenz Anhaltspunkte für die Reaktionsgeschwindigkeit der Dissoziation zu erhalten. Am geeignetsten schien die früher von Herrn Thiesen ausgebildete Methode des geschlossenen Resonators, wobei durch Anwendung des im vorigen Tätigkeitsberichte beschriebenen Normaltonsenders eine wesentliche Vereinfachung und Verbesserung der Meßanordnung erreichbar war. Die bisherigen Versuche erstreckten sich lediglich auf Luft und Wasserstoff bei 0°, um die Versuchsanordnung zu erproben und die nötigen Korrektionen kennen zu lernen.

Als Resonatoren dienten 4 zylindrische Messingrohre, von denen je 2 gleiche Durchmesser aber verschiedene Längen hatten. Die Schallzuführung und -ableitung erfolgte ähnlich wie bei Thiesen durch zentrierte Bohrungen von 1 mm Durchmesser in den Endflächen, der gasdichte aber schalldurchlässige Abschluß der Vorräume nach außen durch Membranen. In den engeren Röhren (Durchmesser 2,6 cm) lassen sich ihre harmonischen Eigentöne bis nahe an die Hörgrenze verfolgen, in den weiteren (Durchmesser 5 cm) lagert sich der bekannten Theorie entsprechend über das harmonische Tonspektrum oberhalb der Schwingungszahl 8100 ein unharmonisches Nebenspektrum, welches zum Teil stärker hörbar ist, als das harmonische, durch seine vielen „Tonlinien" die Identifizierung der harmonischen Töne erschwert und diese im Falle von Koinzidenzen etwas verschiebt. Wenn danach also für hohe Frequenzen die Wahl engerer Röhren vorzuziehen ist, so ist andererseits bei diesen der Einfluß der Wandung stärker.

Berechnet man die Schallgeschwindigkeit für das harmonische Spektrum aus der Röhrenlänge L, der Schwingungszahl n und der Ordnungszahl p des Tones nach der Formel

$$u = \frac{2Ln}{p},$$

so zeigt sie sich nicht völlig konstant. Infolge des Einflusses der Rohrenden und der Rohrwand nehmen die u-Werte mit wachsender Ordnungszahl zunächst ziemlich stark ab (Größenordnung 1%) und steigen nach Erreichung eines Minimums sehr langsam an. Ferner wächst u mit wachsendem Rohrdurchmesser ein wenig an, wie bekannt. Für das engere Rohr beträgt z. B. die Schallgeschwindigkeit in trockener, kohlensäurefreier Luft von 0° für die Schwingungszahl 7000 331,11, für das weitere 331,33 m/s, die Extrapolation auf unendliche Weite ergibt 331,5, m/s.

Unterabteilung IIb.

1. Übersicht über die Prüfungsarbeiten.

Die Zahl der Prüfungsanträge hat sich gegen das Vorjahr um die Hälfte vermehrt, was hauptsächlich auf die starke Inanspruchnahme des magnetischen und des Maschinen-Laboratoriums zurückzuführen ist. In jenem übertrifft die Prüftätigkeit während der zweiten Hälfte des Jahres 1920 diejenige während des letzten Friedensjahres, sie würde sich auf die Dauer mit den vorhandenen Hilfskräften nicht bewältigen lassen.

---

[1]) Grüneisen, Merkel.

A. Laboratorium für Grundeinheiten[1]).

	Anzahl
Proben, Leitungsmaterial	25 (8)
„ Widerstandsmaterial	1 (0)
Einzelwiderstände	41 (26)
Wechselstromwiderstände	4 (1)
Widerstandssätze, einschl. Verzweigungswiderstände (598 Abteilungen)	13 (10)
Clarkelemente	— (4)
Internationale Westonelemente (mit festem Kadmiumsulfathydrat)	2 (5)
Westonelemente mit bei 4° gesättigter Lösung	9 (21)

Von den geprüften Einzelwiderständen waren 30 in Draht- und 11 in Blechform. Von den Widerständen waren 5 für Schweden, 2 für Ungarn, 2 für Holland, 1 für Norwegen und 1 für die Schweiz, von den Widerstandssätzen 4 für Holland, die übrigen alle für das Inland bestimmt.

Die Abweichungen von dem Sollwert lagen bei den internationalen Westonelementen unterhalb $+1 \times 10^{-4}$ Volt. Die Prüfung der Westonelemente mit bei 4° gesättigter Lösung ergab

bei 1 Stück	1,0192	Volt
„ 1 „	1,0191	„
„ 2 „	1,0189	„
„ 1 „	1,0187	„
„ 2 „	1,0186	„
„ 1 „	1,0185	„
„ 1 „	unter 1,0185	„

Ferner wurden 5 Proben Mercurosulfat, die von der Firma de Haen nach der Vorschrift der Reichsanstalt hergestellt waren, auf ihre Brauchbarkeit zur Herstellung von Normalelementen untersucht.

Für die elektrischen Prüfämter führte das Laboratorium die Nachprüfung von 21 Normalwiderständen aus.

Für die verschiedenen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

Aluminiumdraht (Proben)	2
Manganinblech „	2
Widerstände auf Porzellanrohr	12
Wechselstromwiderstände	15
Walzenbrücken	1
Spannungsteiler für Stromwandler	1

Die Metallkommission veranlaßte die Untersuchung zweier Proben Aluminium (Münzmetall) auf spezifischen Widerstand und Temperaturkoeffizienten. Die Ausführung der chemischen Analysen geschah im chemischen Laboratorium.

Probe	Durchmesser	Spez. Wid. Ohm cm bei 20° $\times 10^6$	Temper.-Koeff. $\times 10^3$	Verunreinigung in Proz. Fe	Si	Cu, C
Kurzer Draht	0,986	3,633	3,83	1,0	0,95	Spuren
Langer Draht	0,991	3,468	3,58	2,0	1,8	„

B. Laboratorium für Wechselstromnormalien[2]) und Hochfrequenz[3]).

	Anzahl
Induktivitäten	5 (1)
Induktivitätsvariatoren	0 (1)

[1]) v. Steinwehr, Baisch, A. Schulze.
[2]) Giebe, Zickner.
[3]) Giebe, Alberti.

Kapazitäten	12 (21)
Kapazitätssätze, [19 Abteilungen]	3 (0)
Kapazitätsvariatoren	13 (4)
Verlustwinkel von Kondensatoren	12 (0)
Wellenmesser	3 (4)
Dielektrizitätskonstanten fester Isolatoren	0 (2)

Prüfungen für die Laboratorien der Reichsanstalt.

Kapazitäten	15 (35)
Kapazitätssätze [14 (100) Abteilungen]	3 (10)
Kapazitätsvariatoren	7 (8)

C. Gleichstromlaboratorium[1]).

I. Meßapparate:	Anzahl
Zur Messung der Spannung und Stromstärke	18 (24)
„ „ „ Leistung	15 (17)
„ „ „ Arbeit	20 (36)
II. Vorschalt- und Nebenschlußwiderstände	2 (4)
III. Widerstände von Leitungen (Kupfer bzw. Aluminium) u. ähnl.	6 (0)
IV. Primärelemente	86 (42)
V. Systemprüfungen von Gleich- und Wechselstromzählern	14 (2)

Für die einzelnen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

Normalwiderstände, Strom-, Spannungs-, Leistungsmesser und Zähler	40 (82)

D. Wechselstromlaboratorium[2]).

I. Meßapparate.

Spannungs- und Stromzeiger	10 (3)
Leistungszeiger	4 (14)
Elektrizitätszähler	87 (136)
Strom- und Spannungswandler	142 (178)
Frequenzmesser	0 (4)
Phasenmesser	1 (0)

II. Wechselstromgrößen.

Winkelfehler von Widerständen	5 (1)

III. Isolations- und Installationsmaterial.

	Anzahl der untersuchten Sorten
Feste Isoliermaterialien	50 (30)
Ausgußmassen	13 (21)
Isolierlacke	3 (2)
Isolierharz und -wachs	3 (0)
Isolatoren	9 (4)
Isolierrohre	4 (0)
Transformatorenöle	6 (1)
Kabel und Drahtleitungen	33 (30)
Schalter und Steckvorrichtungen	36 (3)
Gummi-Handschuhe	1 (2)

IV. Technische Apparate.

Heizapparate	10 (2)
Gleichrichter	1 (0)
Zangen mit isolierten Griffen	3 (0)
Verschiedenes	7 (0)

[1]) Schmidt, Scheld.

[2]) Schering, Reichardt, Behnken, Engelhardt, Dieterle.

V. Systemprüfung.

Prüfung von Meßwandlersystemen 0 (3)

Eine Reihe von Hochspannungszählern wurden im Betriebe an Ort und Stelle geprüft.

E. Maschinenlaboratorium[1]).

Es wurden geprüft:

Generatoren und Motoren	15 (1)
Umformer	2 (—)
Transformatoren	— (5)
Anlasser	2 (—)
Davon waren auswärtige Prüfungen	2 (—)

F. Magnetisches Laboratorium[2]).

Die Gesamtzahl der ausgeführten Prüfungen beträgt mehr als das 3-fache der im Jahre 1919 erledigten, und zwar

von permanenten Magneten	10 (0)
„ Flußeisen, Gußeisen, Magnetstahl	88 (38)
„ Dynamoblech	90 (18)

Von den Dynamoblechproben wurden 44 wattmetrisch, 46 statisch untersucht. Außerdem wurden 2 Magnetisierungsapparate nach Köpsel-Kath geeicht.

2. Referat für elektrisches Prüfwesen[3]).

Die Kriegszählersysteme K 53 und K 66 wurden endgültig zur Beglaubigung zugelassen. Die Übersicht über die zugelassenen Friedenszählersysteme ist in nachstehender Zusammenstellung der im Berichtsjahr erlassenen amtlichen Bekanntmachungen enthalten. Abgelehnt wurde die Beglaubigung von 4 Systemen.

a) Zulassung von Zählern zur Beglaubigung.

Nr. 130. Erhöhung des Teuerungszuschlages auf die Prüfungsgebühren für die El. Prüfämter.

Nr. 131. I. Zu System 53 die Formen E^* und EV^*, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom.

II. Zu System 66 die Formen D^* und Do^*, Induktionszähler für mehrphasige Wechselströme, hergestellt von den Isaria-Zählerwerken A.-G. in München.

Nr. 132. Zu System 80 die Form CR, Magnetmotorzähler für Gleichstrom, hergestellt von der Elektrizitätszählerfabrik H. Aron, G. m. b. H. in Charlottenburg.

Nr. 133. System 95 Form $WZ4$, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von der Körting & Mathiesen A.-G. in Leutzsch-Leipzig.

Nr. 134. I. Zu System 83, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, abgeänderte Form EF.

II. Zu System 64, Induktionszähler für Drehstrom, abgeänderte Form H.

III. Zu System 86, Induktionszähler für Vierleiterdrehstrom, abgeänderte Form $BM4$, hergestellt von der Elektrizitätszählerfabrik H. Aron G. m. b. H. in Charlottenburg.

Nr. 135. Neufestsetzung der Beglaubigungsfehlergrenzen für Elektrizitätszähler.

b) Neue Beglaubigungsfehlergrenzen für Zähler.

Im Einvernehmen mit den im Verbande Deutscher Elektrotechniker vertretenen Zähler-Fabrikanten und -Verbrauchern (Elektrizitätswerken) wurden für die Beglaubigung von Zählern neue Fehlergrenzen festgelegt. Die Vorarbeiten sind zum größten Teile bereits vor dem Kriege geleistet worden; die Einführung der neuen, verschärften Bestimmungen wurde jedoch mit Rücksicht auf die durch den Rohstoffmangel hervorgerufenen Schwierigkeiten in der Zähler-

[1]) Vieweg, Menzel.
[2]) Gumlich, Steinhaus.
[3]) Schmidt.

fabrikation auf den 1. Januar 1921 verschoben. Die Verschärfung der Bestimmungen bezieht sich bei Gleichstromzählern im wesentlichen auf kleine Belastungen (unter $^1/_{10}$ der Nennlast), bei Wechselstromzählern außerdem auf ihr Verhalten bei Phasenverschiebung. Für Meßwandlerzähler, d. h. solche Zähler, die in Verbindung mit beglaubigten Meßwandlern ein beglaubigtes Aggregat ergeben sollen, wurde eine besondere, noch engere Fehlergrenze aufgestellt. Die neuen Bestimmungen sind in der amtlichen Bekanntmachung Nr. 135 veröffentlicht worden; Erläuterungen hierzu wurden ausgearbeitet und in der *Elektrotechn. Zeitschr. 45. S. 638. 1920* bekanntgegeben.

c) Tätigkeit der Elektrischen Prüfämter.

Eine Übersicht gibt die nachstehende Tabelle.

Tabelle.

Meßgeräte	Prüfämter						
	Ilmenau	Hamburg	München	Nürnberg	Chemnitz	Frankf.a.M.	Bremen
1. Zähler, im ganzen eingereicht	114	552	9648	1983	36	5620	10079
Davon gehören einem zur Beglaubigung zugelassenen System an	25	256	1861	1499	11	5334	7681
Bei der Einsendung hielten die Verkehrsfehlergrenzen nicht ein	98	248	2723	114	7	190	151
Von den in Zeile 1 aufgeführten Zählern wurden							
a) mit dem Beglaubigungsstempel versehen	25	201	1511	1471	11	4978	7675
b) mit dem Verkehrsstempel versehen	87	268	7888	319	25	448	2383
c) wegen Unzulässigkeit der Bauart zurückgewiesen .	0	41	5	17	0	0	0
d) wegen Überschreitens der Verkehrsfehlergrenzen oder wegen sonstiger Mängel zurückgewiesen	0	0	219	48	0	190	0
2. Tarifuhren, Zeitzähler und andere Tarifgeräte	0	6	5539	22	1	199	0
3. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser und andere Meßgeräte . .	5	47	39	27	25	39	45
4. Elektrische Gebrauchsgegenstände	3	0	41	—	2	11	2
5. Isolations- und Installationsmaterial . . .	22	6	65	—	32	0	2

3. Mitarbeit an den Arbeiten des Verbandes Deutscher Elektrotechniker[1]).

Die Vertreter der Reichsanstalt beteiligten sich an den Arbeiten der Kommissionen und Unterausschüsse des Verbandes Deutscher Elektrotechniker: für Normierung von Aluminium, für Hochfrequenz, für Zähler, für Sonderzähler, für Meßinstrumente, für Meßwandler, für Isolierstoffe, für Hochspannungsleitungen, für Kabelerwärmung.

[1]) v. Steinwehr, Giebe, Schmidt, Schering.

4. Widerstandsnormale[1]). Wie in den Vorjahren gab die Prüfung der Manganinnormalen und der Anschluß der Gebrauchsnormalen an die Widerstandseinheit der Reichsanstalt bei 18° gute Übereinstimmung mit den früheren Ergebnissen. Da sich herausstellte, daß das zur Zeit erhältliche Petroleum, welches für die Bäder benutzt wird, eine wenn auch sehr geringe Leitfähigkeit besitzt, wurden die Widerstände höheren Betrages (1000—100000 Ohm) in Paraffinölbädern gemessen.

5. Ohmrohre[2]). Die Auswägung des Inhalts der 5 neuen Ohmrohre wurde abgeschlossen. Die Bestimmungsmethode war so verfeinert worden, daß die einzelnen Auswägungen nur um wenige Milliontel ihres Wertes vom Mittel abwichen. Hierdurch ist eine die gesetzlichen Anforderungen übertreffende Genauigkeit erzielt worden.

Die Längenmessung wurde im präzisionsmechanischen Laboratorium der Reichsanstalt ausgeführt.

6. Normalelemente[3]). Die kalorimetrischen Versuche (Messungen der spez. Wärme von Kadmiumsulfatlösungen)[3]), über die im vorigen Jahre berichtet wurde, sind abgeschlossen; die Veröffentlichung der Ergebnisse wird demnächst erfolgen. In einer Untersuchung über die Löslichkeit des Kadmiumsulfathydrats haben E. Cohen und B. I. Wolters (*Zeitschr. f. physikal. Chem. 96. S. 253. 1920*) gefunden, daß die von Jaeger und Wachsmuth gegebene Temperaturformel für das internationale Westonelement der international angenommenen Wolfschen Formel überlegen ist, ein Umstand, der teils mit der gleichen, teils mit anderer Begründung auch von der Reichsanstalt neuerdings hervorgehoben worden ist (Anhang 2, Nr. 41). Der Mittelwert der EMK des Stammes der Normalelemente der Reichsanstalt ist seit der silbervoltametrischen Bestimmung im Jahre 1910 infolge des Krieges nicht mehr kontrolliert worden. Es wurden deshalb zunächst eine größere Anzahl neuer Normalelemente mit verschiedenen Merkurosulfaten hergestellt, deren EMK sich in guter Übereinstimmung mit dem Mittel der alten Elemente befindet. Hierdurch ist die zeitliche Konstanz des Elementenstammes erwiesen.

Ferner werden, um den absoluten Wert der Spannung der Normalelemente in internationalen elektrischen Einheiten zu kontrollieren, abermals silbervoltametrische Messungen[4]) vorgenommen. Die Versuchsanordnung ist im wesentlichen die gleiche wie bei den letzten im Jahre 1910 von v. Steinwehr ausgeführten Untersuchungen (*diese Zeitschr. 33. S. 321, 353, 1913*). Bei den jetzigen Messungen werden abermals nicht nur die Wägungen in einem Raume für konstante Temperatur vorgenommen, sondern es befinden sich auch die Normalelemente in dem gleichen Raume. Die niedergeschlagene Silbermenge beträgt bei Anwendung eines Stromes von 0,5 A, der 2 Stunden geschlossen bleibt, 4 g. Die Versuche werden mit 4 hintereinander geschalteten Platintiegeln angestellt. Bei jeder silbervoltametrischen Messung wurde der Mittelwert von 10 Westonelementen bestimmt, die öfter an den Stamm (129 Elemente) angeschlossen werden. Die Untersuchungen sind noch im Gange.

Auf eine Veröffentlichung der Herren Cohen und Moesefeld (*Zeitschr. f. physikal. Chem. 95. S. 285. 1920*), in der die Unbrauchbarkeit des Westonschen Normalelements in der internatioal angenommenen Form behauptet wurde, und die geeignet ist, unbegründete Beunruhigung hervorzurufen, hat die Reichsanstalt mit einer Erwiderung[5]) geantwortet, die sich zur Zeit im Druck befindet.

7. Selbstinduktions-Normale[6]). Als Hauptnormale der Selbstinduktion dienen jetzt die für die absolute Ohmbestimmung hergestellten Selbstinduktionsspulen (Ohmspulen). Um ein Urteil über die zeitliche Konstanz dieser Spulen zu gewinnen, wurde eine Anzahl absoluter und relativer Messungen in der jetzt wieder neu aufgebauten Meßanordnung der Ohmbestimmung ausgeführt; sie ergaben für alle 3 Ohmspulen um einige Hunderttausendstel kleinere Werte der Selbstinduktion als die letzten etwa 6 Jahre zurückliegenden Messungen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß diese Veränderung auf einen Schwund

[1]) v. Steinwehr, Baisch.
[2]) Baisch.
[3]) v. Steinwehr.
[4]) A. Schulze.
[5]) Jäger, v. Steinwehr.
[6]) Giebe, Zickner.

der aus imprägniertem Marmor bestehenden Spulenkerne zurückzuführen ist, da bereits bei der Ohmbestimmung an Probekörpern der gleichen und in derselben Weise imprägnierten Marmorsorte ein solcher nach der Imprägnierung eintretender Schwund festgestellt wurde, der anfangs ziemlich beträchtlich war, aber bereits nach 12 Monaten aufgehört hatte. Da die Kontinuität der Messungen an den Ohmspulen durch den Krieg unterbrochen ist, so lassen sich zur Zeit keine sicheren Angaben über Art und Ursache der beobachteten Veränderungen machen; zunächst sind die Resultate weiterer systematischer Messungen abzuwarten, die seit März dieses Jahres in regelmäßigen Zwischenräumen ausgeführt werden.

Es ist ausdrücklich zu betonen, daß die Sicherheit des veröffentlichten Wertes für das absolute Ohm durch die jetzigen Beobachtungen in keiner Weise beeinträchtigt wird, da auf Grund der an den Probekörpern gemachten Erfahrungen die Möglichkeit von Dimensionsänderungen der Ohmspulen im Laufe der Messungen wohl beachtet wurde.

Da die Dimensionsänderungen zweifellos nur langsam erfolgen und überdies recht klein sind, so sind die Ohmspulen gut geeignet, als Hauptnormale der Selbstinduktion zu dienen. Sämtliche Gebrauchsnormale der Reichsanstalt, welche die Grundlage für die Prüfungen bilden, wurden daher im Berichtsjahr an diese Hauptnormale durch einfache Relativmessungen in der gleichen Meßanordnung wie bei der Ohmbestimmung angeschlossen, wobei leicht eine für alle praktischen Bedürfnisse mehr als ausreichende Genauigkeit erreichbar ist.

8. Wellenlänge elektrischer Schwingungen[1]).

Für die Aufstellung der neuen Wellenlängenskala sind folgende vorbereitende Arbeiten ausgeführt: 1. Herstellung eines Röhrensenders für lange Wellen bis max. 100000 m zur Erweiterung des bisherigen Wellenlängenbereiches und um den Anschluß der Wellenlängenskala an die Normaltonskala der Reichsanstalt (vgl. den vorigen Bericht) zu ermöglichen. — 2. Herstellung eines Satzes von Selbstinduktionsspulen mit den Sollwerten 10^3, 10^4, 10^5, 10^6, 10^7, 10^8 cm, die zusammen mit Normalluftkondensatoren die Schwingungskreise des neuen Normalwellenmessers darstellen sollen. Die Spulen sind aus Litzendraht, für 10^3 bis 10^6 cm einlagig, für 10^7 und 10^8 cm mehrlagig, auf Porzellanzylinder gewickelt und paraffiniert; ihre Selbstinduktion ist möglichst genau auf den Sollwert abgeglichen und durch Vergleich mit den Ohmspulen gemessen (vgl. diesen Bericht Nr. 7 S. 136). Die dekadische Abstufung und genaue Abgleichung der Selbstinduktionen erleichtert ihre Messung und die fortlaufende Kontrolle wesentlich. — 3. Der im vorigen Bericht beschriebene Satz von Luftkondensatoren für den Normalwellenmesser hat sich gut bewährt. Die Kapazitäten haben sich, nach dem Ergebnis wiederholter Messungen, sehr konstant gehalten. Daher wurde eine Anzahl weiterer Kondensatoren hergestellt und genau auf den gewünschten Sollwert abgeglichen. — 4. Messungen der Kapazität der Selbstinduktionsspulen und der Selbstinduktion der Kondensatoren. Untersuchung verschiedener Fehlerquellen (vgl. Anhang 2 Nr. 26).

Am Schluß des Berichtsjahres ist mit den eigentlichen Messungen begonnen.

9. Verlustmessungen an Glimmerkondensatoren[2]).

Die von Schering angegebene Brücke für Verlustmessungen (*diese Zeitschr. 40. S. 124. 1920*) wurde anläßlich eines Prüfungsantrages zur Bestimmung der sehr kleinen Verlustwinkel (1 bis 2 Bogenminuten) von Glimmerkondensatoren bis zu $1\,\mu F$ Kapazität angewandt; sie erwies sich besonders für hohe Kapazitätsbeträge, wo bei der bisher üblichen Brückenmethode Schwierigkeiten auftreten, als sehr zweckmäßig und gestattete die Verlustwinkel leicht bis auf etwa 10 Bogensekunden zu messen.

10. Hochfrequenzuntersuchungen mit der Braunschen Röhre[3]).

Zur Untersuchung der Vorgänge im Röhrensender wurde eine empfindliche Braunsche Röhre mit Vorrichtung für Spannungs- und Stromablenkung gebaut. Durch geeignete Maßnahmen gelang es, Schwingungen bis zu Frequenzen von $2 \cdot 10^7$ ($\lambda = 15$ m) einwandfrei zu untersuchen. Zunächst ist die Analyse der Vorgänge in fremderregten Sendern in Angriff genommen.

11. Anwendung des Röhrensenders in der Wechselstrombrücke[4]).

Für die bereits in den Tätigkeitsberichten von 1909 und 1910 angegebene Brückenresonanzmethode, die Wechselströme unveränderlicher bekannter Frequenz erfordert, läßt

[1]) Giebe, Alberti.
[2]) Giebe, Zickner.
[3]) Alberti, Zickner.
[4]) Merkel.

sich mit Vorteil der im vorjährigen Tätigkeitsbericht beschriebene Normaltonsender verwenden. In den Zweigen 1, 2, 3 der Brückenanordnung liegen Teile eines gewöhnlichen Stöpselwiderstandskastens, im Zweig 4 die unbekannte Selbstinduktion in Reihe mit einem geeichten Glimmer-Kurbelkondensator bis 1 μF von Siemens & Halske. In der Brücke dient als Stromzeiger ein Telephon, mit dem sich das Verschwinden des Tones sehr scharf beobachten läßt, da der Tonsender hinreichend reine Sinusströme liefert.

Die Resonanzbedingung $4\pi^2 n^2 LC = 1$ stellt man am bequemsten durch Veränderung der Frequenz des Normaltonkreises her, während die Kapazität des Resonanzzweiges unverändert bleibt.

Ein Vorzug der Methode besteht in der Möglichkeit, kleine Widerstände in den Brückenzweigen verwenden und symmetrisch anordnen zu können, dagegen schränken die Größen des geeichten Kondensators im Resonanzzweige und die obere Hörgrenze die Anwendung auf kleine Selbsinduktionen ein.

Zwei geeichte Normalspulen von 0,9977 bzw. 0,10009 H, deren äußerst kleine Hautwirkung zu vernachlässigen ist, wurden bei mehreren Frequenzen $2\pi n$ gemessen und ergaben als wirksame Selbstinduktionen

$2\pi n$ (sec^{-1})	L_n (Henry)	$2\pi n$ (sec^{-1})	L_n (Henry)
$2490_{,0}$	0,9989	$3515_{,4}$	0,10013
$2512_{,6}$	79	$8010_{,4}$	16
$2491_{,2}$	81	$8035_{,3}$	19
$10030_{,7}$	1,0118	$9998_{,0}$	17
$10028_{,6}$	123	$10925_{,3}$	19
$11011_{,0}$	152		

Unter Berücksichtigung der Spulenkapazitäten folgen daraus als Grenzwerte für niedere Frequenzen i. M. 0,9975 bzw. 0,10012 H.

12. Untersuchung von Glühkathoden-Röntgenröhren[1].

Die Untersuchungen über Glühkathoden-Röntgenröhren wurden in der Weise fortgesetzt, daß die Strahlung eines mit sinusförmiger Wechselspannung betriebenen Rohres durch Reflexion an einem Steinsalzkristall spektral zerlegt und die Energieverteilung bei verschiedenen Spannungen und Stromstärken ionometrisch aufgenommen wurde. Das Ergebnis war folgendes:

1. Das für Gleichspannung vielfach bestätigte Einsteinsche Quantengesetz ist in der Form $E_{max} \cdot \lambda_0 = 12{,}3$ auch für Wechselspannung für verschiedene Stromstärken streng gültig, wobei unter λ_0 die kürzeste im Spektrum auftretende Wellenlänge in Ångström-Einheiten und unter E_{max} der Scheitelwert der Betriebsspannung in Kilovolt zu verstehen ist.

2. Die spektrale Energieverteilung ist nur abhängig von der Betriebsspannung und wird durch Änderung der Stromstärke durchaus nicht beeinflußt.

Die Feststellung dieser Tatsachen regte dazu an, nach einer mathematischen Formel zu suchen, die die Energieverteilung bei verschiedenen Spannungen darstellt. Dazu konnten Messungen von Ulrey benutzt werden, bei denen das Röntgenrohr mit konstanter Gleichspannung betrieben wurde. Es zeigt sich, daß die mit Hilfe theoretischer Überlegungen gefundene Formel

$$\frac{E_\nu \cdot \nu^2}{c} = e^{-\mu d \cdot \nu^{2.8}} \left[1 - e^{-\frac{q}{\nu^{2.8}}(\nu_0 - \nu)}\right]$$

die Ulreyschen Messungen gut wiedergibt. Hier bedeutet:

$\nu_0 = \frac{\lambda_0}{c} = \frac{12{,}3}{E \cdot c}$ die höchste Frequenz des Spektrums, bei der Spannung E, mal 10^{-18},

ν die Frequenz mal 10^{-18},

E_ν die Energie der Frequenz ν,

c die Lichtgeschwindigkeit,

e die Basis der natürlichen Logarithmen,

μ_ν den Absorptionskoeffizienten des Röhrenglases bei der Frequenz ν,

d die Dicke der Glaswand in cm.

[1] Behnken.

Q eine Konstante,

q eine Konstante des Antikathodenmateriales, die mit ungefähr 3,6 für Wolfram in die Formel einzusetzen ist.

$\mu_\nu \cdot d$ wurde für die von Ulrey benutzte Röhre zu ungefähr $\frac{68{,}0}{\nu^{2.8}}$ gefunden.

Durch graphische Berechnung läßt sich die Formel auch auf den der Praxis mehr entsprechenden Fall sinusförmiger Wechselspannung übertragen. Auf diese Weise wurde sie auch durch eigene Messungen bei Spannungen bis zu 75 kV maximal bestätigt gefunden. Für höhere Spannungen muß die Formel ungültig werden, da alsdann die K-Strahlung des Wolframs auftritt und gleichzeitig der Absorptionskoeffizient für Röntgenstrahlen und damit die Größe q einen Sprung erleidet. Diese Untersuchungen sind veröffentlicht (Anhang 2, Nr. 23).

Damit sind genügende Unterlagen geschaffen, um an die absolute Bestimmung der Röntgenstrahlendosis heranzutreten. An dieser wird zur Zeit gearbeitet.

13. Messung gegenseitiger Induktivitäten[1]).

Die im vorigen Jahresbericht angegebene Methode zur Messung kleiner gegenseitiger Induktivitäten mit Hilfe einer einzigen Einstellung wurde ergänzt durch eine ähnliche Methode zur Messung größerer gegenseitiger Induktivitäten.

Es wurde eine Stromverzweigung (Fig. 4) angewendet, deren einer Teil aus der Primärspule L, der gegenseitigen Induktivität M in Reihe mit dem regelbaren Widerstand R, der andere aus der Kapazität C in Reihe mit dem festen Widerstand ϱ besteht. Parallel zu letzterem ist über das Vibrationsgalvanometer V die sekundäre Spule von M geschaltet. Wenn $\frac{1}{\omega C}$ gegen C, und ωL gegen R zu vernachlässigen ist, so sind die Ströme in beiden Zweigen um 90° gegeneinander verschoben, so daß die Spannung an ϱ gegen die sekundäre Spannung von M zu kompensieren ist. Es ergibt sich dann $M = R \cdot \varrho \cdot C$; wobei in R der Widerstand der Primärspule eingerechnet ist. Soll die Genauigkeit der Messung $= \eta$ sein, so sind, wie eine genauere Rechnung zeigt, durch geeignete Wahl von ϱ und C folgende Bedingungen zu erfüllen:

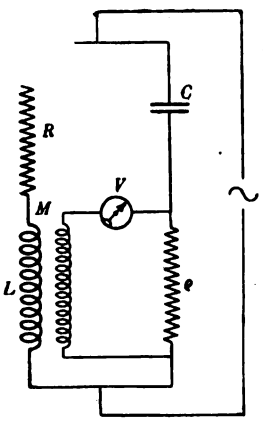


Fig. 4.

$$\varrho \omega C \leqq \eta,$$

$$\frac{\omega L}{R} \leqq \eta.$$

Folgende Tabelle zeigt eine Reihe praktisch ausgeführter Messungen.

M	ϱ	R	C	Genauigkeit %	Bei Volt
$1{,}00 \cdot 10^{-4}$	0,1	1000	$1 \cdot 10^{-6}$	0,5	50
$1{,}002 \cdot 10^{-3}$	1	1002	$1 \cdot 10^{-6}$	0,2	50
$2{,}68 \cdot 10^{-3}$	0,2	13420	$1 \cdot 10^{-6}$	0,2	80
$0{,}671 \cdot 10^{-2}$	0,3	22390	$1 \cdot 10^{-6}$	0,1	80
$3{,}12 \cdot 10^{-2}$	1	31220	$1 \cdot 10^{-6}$	0,1	40
$1{,}36 \cdot 10^{-1}$	2	68060	$1 \cdot 10^{-6}$	0,1	80

14. Verlustmessung bei Hochspannung[2]).

Die im vorigen Bericht besprochene Brückenmethode zur Verlustmessung bei Hochspannung wurde weiter ausgebildet. Das Neuartige dieser Methode war, daß zur Phasenabgleichung der Brücke nicht dem verlustfreien Vergleichskondensator (Zylinderluftkondensator nach Petersen) ein Widerstand vorgeschaltet, sondern dem Widerstandszweig R_4, welcher dem Verlustkondensator in der Brücke diagonal gegenüberliegt, eine regelbare Kapazität C_4 parallel ge-

[1]) Schering, Engelhardt.
[2]) Schering, Dieterle.

schaltet wurde. Der Leistungsfaktor $\cos\varphi_1$ des Verlustkondensators C_1 ergab sich aus der einfachen Beziehung

$$\cos\varphi_1 = -R_4\,\omega\,C_4\,.$$

Bei der Untersuchung von Hochspannungskabeln, wofür die Methode besonders geeignet ist, erwies es sich nun als vorteilhaft, nicht mehr R_4, sondern den anderen Widerstandszweig R_3 regelbar zu machen und R_4 den festen Wert $\frac{1000}{\pi}\,\Omega$ zu geben, so daß für die in Deutschland übliche Frequenz 50 ($\omega = 100\,\pi$) wird

$$\cos\varphi_1 = 0{,}1\cdot 10^{+6}\cdot C_4\,.$$

Die Ablesung des regelbaren Kondensators C_4 in Mikrofarad, dividiert durch 10 gibt also unmittelbar den gesuchten Leistungsfaktor. Beim Studium der Abhängigkeit des Leistungsfaktors bei Kabeln von der Höhe der Spannung, der Dauer der Beanspruchung und der Erwärmung durch die Stromwärme im Leiter wird durch diese unmittelbare Ablesung eine außerordentliche Ersparnis an Rechenarbeit erzielt; ferner kommt der kleinsten Stufe 0,001 μF des regelbaren Kondensators stets derselbe Einfluß auf die Phasenabgleichung zu, und auch hinsichtlich der Empfindlichkeit und des Einflusses der Fehlerquellen ergeben sich Vorzüge. Der regelbare Widerstand R_3 ist über einen Schleifdraht von $^2/_{10}\,\Omega$ mit dem Verlustkondensator verbunden, an dem Gleitkontakt des Schleifdrahtes liegt die eine Klemme des Nullinstruments (Vibrationsgalvanometer). Das Brückenverhältnis kann mit diesem Schleifkontakt bequem und fein auf Zehntausendstel (relativ) abgeglichen werden; daß dabei bis zu $^2/_{10}\,\Omega$ dem Verlustkondensator in Reihe geschaltet werden, beeinträchtigt dessen Phasenwinkel nur in einem weit unter der Grenze des Bemerkbaren liegenden Maße. Zum Schutze gegen Durchschläge sind den Brückenzweigen R_3 und R_4 Luftleerblitzableiter zum Erdungspunkt parallel geschaltet. Zur größeren Sicherheit wird aber noch die Regelung von R_3 und C_4 mit Isoliergriffen vorgenommen. Der Schleifdraht, der feste Widerstand R_4 und die Luftleerblitzableiter sind in einen Kasten eingebaut, welcher mit Klemmen für die Erdung, für R_3, für C_4, für das Vibrationsgalvanometer und für die 2 Leitungen vom Verlustkondensator und vom Vergleichskondensator versehen ist, so daß der Aufbau der Anordnung schnell und fehlerlos vorzunehmen ist.

Bei Spannungen unter 15000 Volt wird als verlustfreier Vergleichskondensator an Stelle des Zylinderluftkondensators nach Petersen ein Preßluftkondensator besonderer Konstruktion in einer Stahlflasche benutzt, dessen erheblich größere Kapazität von etwa 0,001 μF die Abnahme der Meßgenauigkeit mit der Spannung wieder wettmacht.

15. Die dielektrische Erwärmung von Kabeln[1]).

Der Einfluß der Kabelenden auf die Verlustmessung wurde untersucht und sowohl bei Einfach- wie bei Mehrfachkabeln durch geeignete Schutzschaltungen beseitigt.

Den Strombelastungstabellen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker für Kabel ist eine zulässige Übertemperatur von 25° C zugrunde gelegt; die Frage, ob bei Hochspannungskabeln dabei auf die dielektrische Erwärmung Rücksicht zu nehmen ist, war bisher nicht völlig geklärt, sie ist zur Zeit von erhöhtem Interesse, da die Strombelastungstabellen für Kabel bis 25000 V fortgesetzt werden sollen.

Die rechnerische Verfolgung des Problems der dielektrischen Erwärmung von Kabeln ergab, daß die dielektrische Übertemperatur des Leiters, bei im Boden verlegten Einfach- und Mehrfachkabeln bei 50000 V verketteter Spannung und bei einem Leistungsfaktor von 0,02 etwa 1 bis $1^1/_2$° C beträgt. Durchschnittlich ist der Leistungsfaktor aber bei guten Kabeln noch kleiner als 0,02. Da die Übertemperatur dem Quadrat der Spannung proportional ist, so kann die dielektrische Erwärmung bei kleineren Spannungen als 50000 V ganz vernachlässigt werden. Von theoretischem Interesse ist, daß beim Einfachkabel die dielektrische Obertemperatur des Leiters über den Bleimantel völlig unabhängig von den Abmessungen und im allgemeinen kleiner ist als die Übertemperatur des Mantels über das Erdreich in angemessener Entfernung.

16. Bestimmung des Nutzeffektes von Bügeleisen[2]).

Eine Methode zur Bestimmung des Nutzeffektes von Bügeleisen wurde gelegentlich eines

[1]) Schering.

[2]) Engelhardt.

Prüfungsantrages ausgearbeitet (s. Anhang 2, Nr. 25). Die Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker über die Prüfung von Bügeleisen geben bisher lediglich eine Bewertung nach sicherheitstechnischer Richtung. Als Nutzeffekt des Bügeleisens wurde das Verhältnis der durch die Grundplatte an siedendes Wasser abgegebenen Wärmemenge zur verbrauchten elektrischen Energie definiert. Die abgegebene Wärmemenge konnte aus der verdampften Wassermenge und den in einem besonderen Versuch bestimmten Wärmeverlusten durch die Wände des Apparats errechnet werden. Das Wasser wurde aus einem Behälter automatisch derart nachgeliefert, daß es in der flachen Schale, in der das Bügeleisen auf kleinen Porzellanisolatoren ruhte, die Grundplatte des Eisens dauernd 1 mm tief eintauchen ließ. Die Verluste des Kalorimeters wurden durch einen gesonderten Versuch bestimmt. Bei diesem wurde das Bügeleisen durch eine aus Isoliermaterial bestehende Platte, deren Form mit der Grundplatte des Bügeleisens übereinstimmte, ersetzt. Auf die Platte wurde ein Bügeleisen gesetzt und so beheizt, daß die Wärmeverluste durch die Platte gerade kompensiert wurden, was an der Temperaturgleichheit zweier übereinander in die Platte eingelassener Thermoelemente erkannt werden konnte. Die Wärmeverluste wurden hierdurch auf die Verluste durch die Seitenwände und die freie Wasseroberfläche eingeschränkt. Die Heizung des Kalorimeters wurde durch einen in das Wasser gelegten Heizwiderstand vorgenommen, dessen Energie unter diesen Umständen völlig an das Wasser abgegeben werden mußte, so daß der Fehlbetrag zwischen elektrischer Energie und der aus der Verdampfung errechneten den Wärmeverlust im Kalorimeter durch die Seitenwände und die freie Wasserfläche ergab. An zwei gleichartigen Bügeleisen, welche sich nur durch das Material der Grundplatte unterschieden, wurde so ein Nutzeffekt von 88% gefunden.

17. Blindleistungsmessungen[1]).

Die im vorjährigen Bericht erwähnten Versuche, die Zuverlässigkeit der Kunstschaltungen für die Blindleistungsmessungen zu untersuchen, wurden fortgesetzt. Die beiden Zeiger-Wattmeter waren in Blindleistungskunstschaltung nach Art der Aron-Schaltung geschaltet, wobei die Spannungsspulen statt an die verketteten Spannungen E_{12} und E_{32} an die Sternspannung E_{30} und E_{10} gelegt wurden. Die Messung der Blindleistung mit Gegeninduktivitäten und Elektrometer ist von der Ungleichheit der Spannungen und Ströme des Drehstromsystems unabhängig, wird aber durch Oberschwingungen gestört. Es gelang nun, die Ströme besser von den Oberschwingungen zu reinigen. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle.

Tabelle.

Spannung	Strom	cos φ etwa	2 Wattmeter in Kunstschaltung	Elektrometer (in Wattmeterskalenteilen umgerechnet)	Differenz	Fehler der Kunstschaltung, berechnet
3 × 190 V	3 × 5 A	1	0,4	0,7	− 0,3	
		0,87	110,8	110,8	+ 0,0	
		0,5	196,8	196,7	+ 0,1	
		0	225,7	225,4	+ 0,3	
3 × 190 V	$J_1 = 5$ A	1	0,0	− 0,3	+ 0,3	
	$J_2 = 4$ „	0,87	95,6	95,1	+ 0,5	
	$J_3 = 3$ „	0,5	162,9	162,5	+ 0,4	
		0	186,0	186,1	− 0,1	
$E_{12} = 196{,}6$ V	3 × 5 A	1	26,1	26,4	− 0,3	
$E_{23} = 171{,}5$ „		0,87	127,3	127,0	+ 0,3	
$E_{31} = 184{,}2$ „		0,5	205,4	205,8	− 0,4	
		0	228,1	227,8	+ 0,3	
$E_{12} = 196{,}6$ V	$J_1 = 5$ A	1	33,4	34,2	− 0,8	− 0,9
$E_{23} = 171{,}5$ „	$J_2 = 4$ „	0,87	50,4	53,6	− 3,2	− 3,2
$E_{31} = 184{,}3$ „	$J_3 = 3$ „	0,5	129,1	135,7	− 6,6	− 6,8
		0	170,9	179,3	− 8,4	− 8,4

[1]) Schering, Schmidt, Scheld.

Die beiden ersten Versuchsreihen mit gleichseitigem Spannungsvektordreieck zeigen, daß die Kunstschaltung ziemlich genau die richtigen Werte gibt, mag das Stromvektordreieck gleichseitig oder schief sein. Auch bei der dritten Versuchsreihe, bei der das Spannungsvektordreieck erheblich schief, das Stromvektordreieck aber gleichseitig war, zeigt die Kunstschaltung noch richtig, praktisch kommt dieser Fall allerdings nicht vor. Bei der vierten Versuchsreihe, bei der das Spannungsvektordreieck und das Stromvektordreieck erheblich schief waren, zeigt die Kunstschaltung nament lich bei großer Phasenverschiebung nicht unerhebliche Fehler.

Zur Kontrolle wurden die Fehler berechnet, indem aus dem Diagramm ermittelt wurde, um welchen Betrag und welchen Phasenwinkel die infolge der Kunstschaltung an den Wattmeterspulen liegenden Spannungen von den wirklichen „Blindspannungen" abweichen. Die errechneten Fehler, in Wattmeterskalenteilen ausgedrückt, sind in der letzten Spalte aufgeführt, sie stimmen mit den beobachteten gut überein.

Durch Messung und durch Rechnung wurde ferner festgestellt, daß diese Fehler bei der Zwei-Wattmeter- und der Drei-Wattmeter-Kunstschaltung gleich groß sind, auch bei Drehstrom mit Nulleiter ist ein Unterschied in den Kunstschaltungen mit den Sternspannungen und mit den verketteten Spannungen nicht vorhanden.

In der Praxis kommen nun, wie eine Umfrage bei einer Anzahl von Elektrizitätswerken und die vielfachen Beobachtungen der Reichsanstalt bei Zählerprüfungen im Betriebe ergeben haben, derartige schiefe Spannungsdreiecke nicht vor, so daß die Kunstschaltungen für Blindverbrauchszähler unbedenklich angewandt werden können.

18. Messung des Phasenwinkels bei Induktionszählern[1]).

Die im vorigen Berichte mitgeteilten Versuche hatten ergeben, daß sich der Winkelfehler δ, um den die Verschiebung des Strom- und Spannungsfeldes bei Induktionszählern von ihrem Sollwerte abweicht, mit der Änderung der Stärke des Hauptstromes nur wenig ändert. Dieses Ergebnis wurde erhalten, wenn das Spannungsfeld des Zählers mit der der Nennspannung entsprechenden Spannung erregt war. Die Empfindlichkeit der angewendeten Methode gestattete, die Versuche auf kleinere Spannungen — bis zu $^1/_8$ der Nennspannung — auszudehnen. Hierbei zeigte sich die merkwürdige Erscheinung, daß die Abhängigkeit des Winkelfehlers δ von der Stärke des Hauptstromfeldes erheblich durch die Erregung der Spannungsspule beeinflußt wurde, und zwar war bei schwacher Erregung der Spannungsspule die Abhängigkeit ganz erheblich größer als bei Erregung mit der Nennspannung: mit abnehmendem Hauptstrom wuchs der Fehlwinkel δ stark in positiver Richtung an. Dieses Ergebnis ist von besonderer Wichtigkeit im Hinblick darauf, daß mehrfach Messungen des Winkelfehlers δ mit Hilfe von Kompensationsmethoden ohne Erregung der Spannungsspule vorgenommen sind; die hierbei erhaltenen Werte von δ können den bei normalem Betriebe des Zählers tatsächlich auftretenden Abweichungen nicht entsprechen.

Die Versuche mit verminderter Spannung wurden bisher an zwei Zählersystemen durchgeführt; bei dem einen war die beobachtete Erscheinung sehr stark, bei dem anderen weniger ausgeprägt. Die Versuche werden fortgesetzt.

19. Untersuchung von Dynamobürsten[2]).

Auf Antrag der Industrie wurde eine Meßmethode zur Prüfung von Dynamobürsten hinsichtlich Reibung und Übergangswiderstand ausgearbeitet. Der dazu notwendige Apparat befindet sich zur Zeit noch im Bau.

20. Lagerreibung[3]), *Erwärmung v. Maschinen*[3]), *Torsionsdynamometer*[4]).

Infolge der außerordentlichen Zunahme der Prüfungen konnten die wissenschaftlichen Untersuchungen über Lagerreibung, Erwärmung elektrischer Maschinen und Torsionsdynamometer mit optischer Ablesevorrichtung nur in geringem Maße weitergeführt werden. Die Arbeiten beschränkten sich im wesentlichen auf die Messung der Dicke der Ölschicht bei Lagern. Nach den früheren Beobachtungen zeigte sich je nach ihrer Umlaufsrichtung eine verschiedene Verlagerung der Welle im Lager. Worauf diese Verschiedenheit zurückzuführen ist, konnte bisher mit Sicherheit noch nicht ermittelt werden. Nach den bisherigen Beobachtungen scheint sowohl die Einlaufsrichtung im Lager, als auch die Umlaufsrichtung der Welle bei der Bearbeitung von Einfluß zu sein.

21. Messung der Dicke der Ölschicht bei Lagern[3]).

[1]) Schering, Schmidt.
[2]) Vieweg, Menzel.
[3]) Vieweg, Wetthauer.
[4]) Vieweg.

Die Kommission für Maschinen und Transformatoren des Verbandes Deutscher Elektrotechniker regte an, Methoden zur Bestimmung des Spannungsabfalles und des Kippmomentes bei Synchronmaschinen auszuarbeiten. Es wird zur Zeit versucht, mit Hilfe der Voreilungsmessung auf optischem Wege diese Aufgabe zu lösen.

22. Kippmoment von Synchronmaschinen[1].

Zur Verbesserung der Meßeinrichtungen für Gleichstrom wurden ziemlich zeitraubende Untersuchungen angestellt, um das für die Sättigungswerte benutzte Prinzip der Feldstärkenmessung, das sich dort sehr gut bewährt hat, auch auf die Messung von niedrigen Feldstärken zu übertragen, bis jetzt leider ohne den gewünschten Erfolg. Der Grund hierfür ist offenbar darin zu suchen, daß bei niedrigen Feldstärken infolge von Streuungen, welche nicht nur auf Unregelmäßigkeit des Querschnittes, sondern offenbar in noch höherem Maße auf solche des Materials zurückzuführen sind, das magnetische Feld in der nächsten Umgebung des Stabes so stark und unregelmäßig verzerrt wird, daß Schlüsse von diesem auf die Größe des Feldes im Innern der Probe nicht gezogen werden können. Die Versuche werden zunächst noch fortgesetzt.

23. Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtungen für Gleichstrom und für Wechselstrom[2].

Für die wattmetrischen Prüfungen, deren Genauigkeit bei Anwendung gewöhnlicher Zeigerwattmeter für die außerordentlich verbesserten Materialeigenschaften der neueren legierten Bleche nicht mehr ausreichte, wurde probeweise eine dynamometrische Meßeinrichtung mit Spiegelablesung eingeführt, die sich gut zu bewähren scheint; zur Spannungsmessung soll statt des gewöhnlichen Zeigerinstrumentes, das infolge seines Energieverbrauchs erhebliche Korrektionen bei der Verlustmessung bedingt, ein Elektrometer verwendet werden. Die neue Meßeinrichtung hat in einem, schon längere Zeit dafür bestimmten, störungsfreien Raum Aufstellung gefunden, der während der Kriegszeit aus Mangel an Hilfskräften nicht bezogen werden konnte; sie ist nahezu beendet.

Die Messungen der Gansschen reversiblen Permeabilität sind im Gange, konnten aber infolge der Überlastung des Laboratoriums mit Prüfungsarbeiten noch nicht zu Ende geführt werden.

24. Die Messung der Gansschen reversiblen Permeabilität[2].

Die Versuche mit reinem Elektrolyteisen können im wesentlichen als abgeschlossen gelten die Veröffentlichung des Ergebnisses wird demnächst erfolgen.

25. Versuche mit reinem Elektrolyteisen[3].

Die Untersuchung der von der Firma Friedrich Krupp (Essen) freundlichst zur Verfügung gestellten Eisen-Phosphorlegierungen ist dem Abschluß nahe gebracht, ebenso die Untersuchung der für die Herstellung von permanenten Magneten wichtigen Chrom-Kohlenstofflegierungen, für welche in letzter Zeit namentlich die magnetische Wirkung von nachträglichem Anlassen bei steigenden Temperaturen unter vergleichsweiser Hinzuziehung von reinen Kohlenstoffstählen eingehend studiert wurde. Hand in Hand damit gehende, aber noch nicht abgeschlossene mikrographische Untersuchungen sollen den Zusammenhang zwischen den Änderungen der magnetischen Eigenschaften und denjenigen der Gefügebestandteile feststellen.

26. Einfluß der chemischen Zusammensetzung und thermischen Behandlung auf die Magnetisierbarkeit von Eisenlegierungen[2].

Besondere Gründe ließen es angebracht erscheinen, die erst für später auf Grund abgeschlossener systematischer Untersuchungen in Aussicht genommene Herstellung von Material für permanente Magnete mit erhöhter Leistungsfähigkeit schon jetzt in Angriff zu nehmen. Mit Hilfe von bisher noch nicht verwendeten Zusätzen zu reinem Stahl gelang es, Legierungen herzustellen, welche nach dem Abschrecken von geeigneten Temperaturen bei etwa gleich hoher wahrer Remanenz rund die doppelte Koerzitivkraft besaßen, als die besten bisherigen Wolframmagnete, so daß, falls sich auch die Haltbarkeit des Materials günstig erweist, schon jetzt ein erheblicher Fortschritt wenigstens für die Fabrikation von kurzen, schlecht geschlossenen Magneten erreicht worden ist. Die Versuche, welche namentlich auch die Erhöhung der wahren Remanenz durch geeignete thermische Maßnahmen bezwecken, sind noch nicht abgeschlossen. Die zahlreichen Probelegierungen sind wieder von der Firma Friedrich Krupp in dankenswerter Weise nach Vorschrift angefertigt und der Reichsanstalt zur Verfügung gestellt worden. (Schluß folgt.)

27. Herstellung u. Untersuchung von neuem Material für permanente Magnete[3].

[1]) Menzel.
[2]) Gumlich, Steinhaus.
[3]) Gumlich.

Zur Theorie der Polarisationsprismen VII: Die Bestimmung der Gesichtsfeldgröße und ihrer Schwankungen.

Von

Dr. **Hans Schulz.**

(Mitteilung aus der Optischen Anstalt C. P. Goerz, Berlin-Friedenau.)

Die in früheren Veröffentlichungen[1]) angegebenen Beziehungen zwischen Schnittwinkel, Kittindex und Gesichtsfeld genügen wohl zur rechnerischen Ermittelung der Konstruktionsdaten für beliebige Achsenlage, können aber immer nur das in der Praxis unerreichbare wünschenswerte Ziel darstellen. Zwar läßt sich durch Differentiation der gegebenen Ausdrücke leicht feststellen, wie groß der Einfluß fehlerhafter Schnitte bezüglich der Achsenlage und der Größe des Schnittwinkels ist, ebenso ist auch der Einfluß von Brechungsexponentenänderungen in der Kittschicht zahlenmäßig aus den Formeln zu entnehmen, doch kann kein Urteil darüber gefällt werden, in welcher Größe die Fehler bei der laufenden Herstellung auftreten und wie sie in ihrer Gesamtheit auf die Leistung des Prismas einwirken. Vor allem ist ja, worauf bereits hingewiesen worden ist, die Beschaffenheit der Kitte selbst bei sorgfältigster Behandlung nicht gleichmäßig und die Veränderung während des Eintrocknens zu wenig bekannt, um rechnerisch verwertet werden zu können. Welches Gewicht aber gerade hierauf zu legen ist, zeigt die Rechnung. Eine Änderung von fünf Einheiten der dritten Dezimale, die durchaus im Bereich der Möglichkeit liegt, da Wülfing bereits Änderungen bis zu acht Einheiten der dritten Dezimale feststellen konnte, ergibt Verschiebungen der Grenzkurven von etwa 1^0.

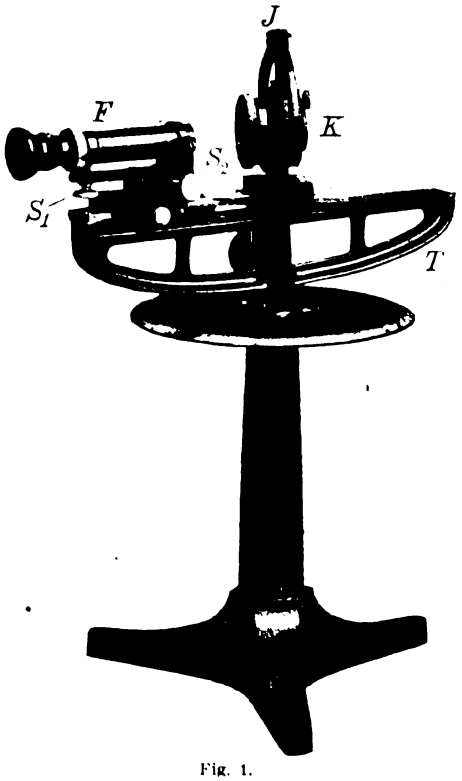


Fig. 1.

Zur Ausführung dieser Messungen bieten sich zwei Wege. Bringt man das Polarisationsprisma unmittelbar vor das Objektiv eines photographischen Apparates und macht bei Einstellung auf Unendlich eine Aufnahme einer gleichmäßig diffus strahlenden Fläche, so ergeben sich auf der Platte, namentlich wenn man durch Benutzung eines Gelbfilters der Dispersion begegnet, die Grenzkurven mit ausreichender Schärfe, wie ja in Anbetracht der starken Intensitätsunterschiede zu erwarten ist.

Andererseits ist auch eine Bestimmung auf subjektivem Wege möglich. Halle[2]) hat bereits gezeigt, wie man unter Benutzung eines einfachen Goniometers die Größe

[1]) H. Schulz, *diese Zeitschr.* **36.** *S. 247—251. 1916; 38. S. 69—75. 1918; 39. S. 154 bis 157. 1919.*

[2]) B. Halle, Handbuch der prakt. Optik, Berlin 1913, S. 111.

des Gesichtsfeldes feststellen kann, indem man ein Analysatorprisma so lange verschiebt, bis die farbigen Säume auftreten. Schärfer wird diese Bestimmung, wenn man zur Beobachtung ein Fernrohr mit Fadenkreuz verwendet. Den von mir für diese Messungen benutzten Apparat zeigt Fig. 1. Das Fernrohr F befindet sich auf dem drehbaren Träger T, der mit einem Zeiger versehen ist, welcher auf der Teilung des horizontalen Kreises gleitet. Eine Teilung in ganzen Kreisgraden genügt, Zehntel-Grade können geschätzt werden. Zur Justierung des Fernrohres dienen die Schrauben S_1 und S_2. Das zu untersuchende Prisma wird in eine Klemmfassung K gebracht, die durch einen Kordelring betätigt wird. Um die Ausdehnung des Gesichtsfeldes auch für außerhalb des Hauptschnittes verlaufende Strahlen messen zu können, ist die Prismenfassung drehbar. Zur Feststellung des Prismenazimutes dient eine Gradteilung, die mit Index J abzulesen ist. Auch hier genügt eine Ablesungsgenauigkeit von $^1/_{10}{}^0$. Ist das Fernrohr auf Unendlich eingestellt, und befindet sich hinter dem in die Klemmfassung gebrachten Polarisationsprisma auf dem andern Ende des Trägers T eine diffus leuchtende, ausgedehnte Fläche, so sieht man bei passender Einstellung des Fernrohrs die Grenzen der Totalreflexion als hinreichend scharfe

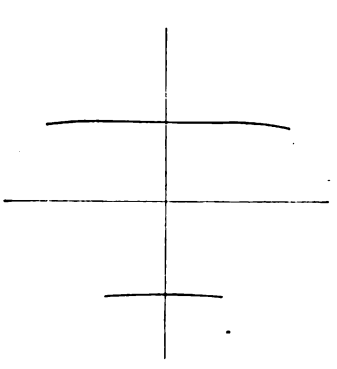


Fig. 2 (Nr. 2).

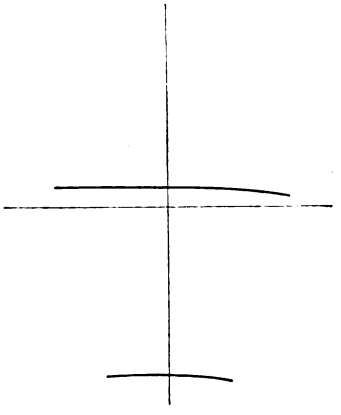


Fig. 3 (Nr. 6).

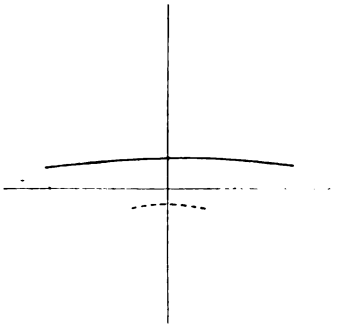


Fig. 4 (Nr. 7).

farbige Linien, auf die das Fadenkreuz eingestellt werden kann. Bei stärkerer Dispersion ist es ratsam, Farbfilter einzuschalten.

Eine bessere Einstellung der Grenze wird gewährleistet, wenn man vor dem Fernrohr eine weitere Klemmfassung mit einem Analysatorprisma mittels Schlitten aufschiebt, da in diesem Falle die Intensitätsunterschiede zwischen polarisiertem und nicht polarisiertem Feld beliebig verändert werden können.

Stellt man so für verschiedene Azimute die Lage der Grenzkurven fest und trägt diese in der früher erwähnten Weise auf, d. h. so, wie sie sich in der Brennebene einer Linse von 100 mm Brennweite abbilden würden, so läßt sich ein Vergleich mit den photographisch ermittelten Kurven einerseits, mit den früher berechneten Kurven andererseits ausführen, wobei zu bemerken ist, daß das Objektiv des Apparates eine Brennweite von 135 mm besaß. Die photographisch aufgenommenen Kurven sind also im Verhältnis 135 : 100 zu reduzieren, um mit den subjektiv aufgenommenen Kurven vergleichbar zu sein. Geringe Abweichungen lassen sich bereits erklären durch die bei den Reproduktionsverfahren auftretenden Fehler. Im ganzen aber geben die nach Messungen gezeichneten Figuren 2—9 einerseits und die Figuren 10—13 andererseits, die durch photographische Aufnahmen gewonnen sind. die Erscheinung gleich gut wieder. Wenn bei letzteren die Grenzkurven nur in

geringer Ausdehnung erhalten wurden, so ist dies darauf zurückzuführen, daß ein passendes Objektiv mit Vorderblende nicht vorhanden war und infolge Abblendung im Prisma selbst der Bildwinkel des Objektivs nicht ausgenutzt werden konnte. Die

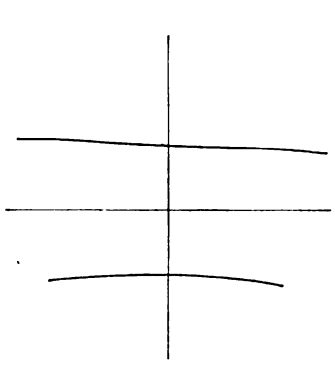


Fig. 5 (Nr. 9).

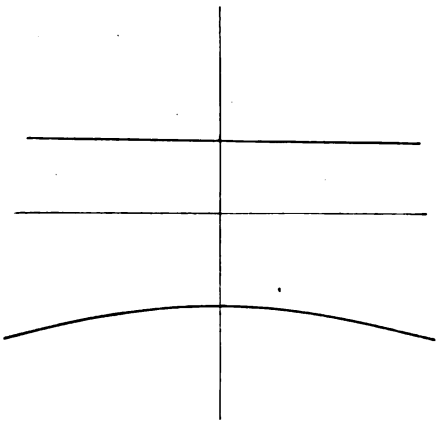


Fig. 6 (Nr. 10).

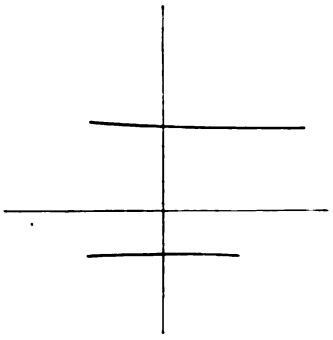


Fig 7 (Nr. 17).

den Figuren beigefügten Ordnungsnummern beziehen sich auf die Prismenform, die aus folgender Aufstellung ersichtlich ist.

Ordnungs-nummer	Art des Prismas	Öffnung mm	Form des Querschnittes	Neigung der Endflächen °	Schnitt-winkel °	Gesichtsfeld °
2	Verkürztes Nicol	8	rhombisch	71	21	24
6	Hartnack	12	„	90	23,4	26
7	Foucault (Luft)	15	„	90	50	7
9	Gekürztes Nicol nach Halle	12	quadratisch	80	24	19
10	Normales Nicol m. Terpentinkittung	12	rhombisch	70	30	24
17	Gekürztes Glan-Thompson mit Leinölkittung	9	quadratisch	90	23	19
18	Ritter-Frank	10	„	90	17,5	36
22	Normales Glan-Thompson	10,5	„	90	17	38

Form und Lage der Grenzkurven ist bei den verschiedenen Prismenformen wesentlich verschieden. Neben der vollkommen unsymmetrischen Lage der Grenzkurven bei

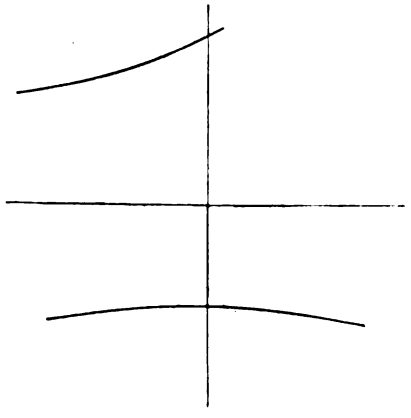


Fig. 8 (Nr. 18).

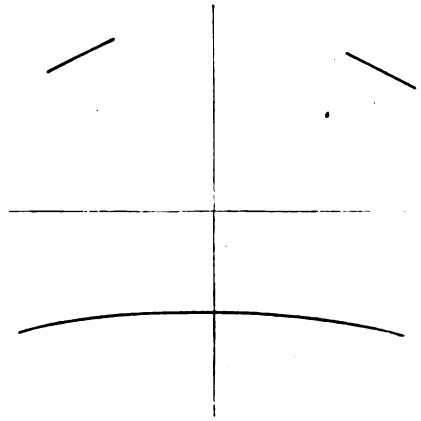


Fig. 9 (Nr. 22).

Prisma 6 (Fig. 3) ist besonders auf die Lage der Kurve bei Nr. 18 (Fig. 9) hinzuweisen, die bereits rechnerisch ermittelt werden konnte und als charakteristisch für die Ritter-Franksche Form betrachtet werden kann.

War somit der Beweis erbracht, daß zwar die berechneten Kurven im ganzen den tatsächlich vorhandenen entsprechen, so mußte vor allem auf die Abweichungen aus den anfangs angegebenen Gründen geachtet werden. Bei 150 untersuchten Prismen (Ritter-Franksche Form) konnte festgestellt werden, daß die Größe des Gesichtsfeldes um etwa 2,5—3° im Mittel schwankte, während die Wanderung der ordentlichen Grenzlinie im Mittel etwa 1,15° betrug. Die Verteilung dieser hauptsächlich auf Verschiedenheiten des Kittes zurückzuführenden Abweichungen zeigt Fig. 15, in der als Abszisse die Lage der Grenzlinie, bezogen auf die Prismenachse, als Ordinate die Zahl der in den Bereichen liegenden Prismen in Prozenten der Gesamtzahl aufgetragen ist.

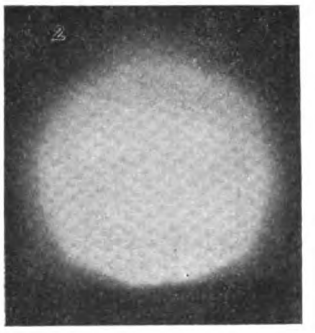


Fig. 10.

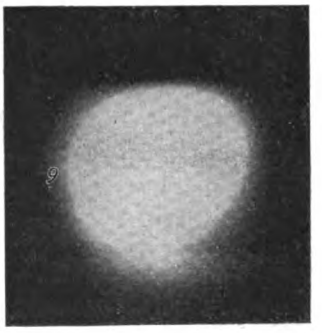


Fig. 11.

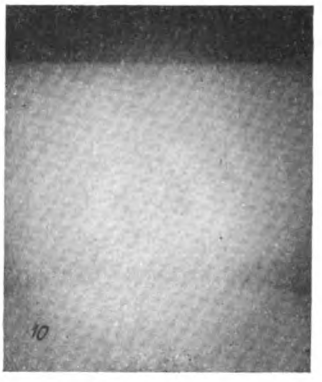


Fig. 12.

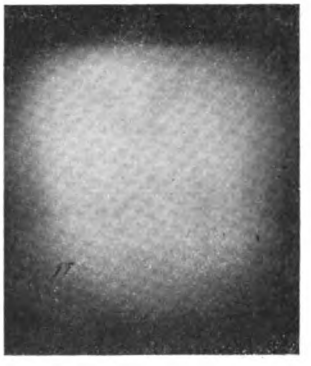


Fig. 13.

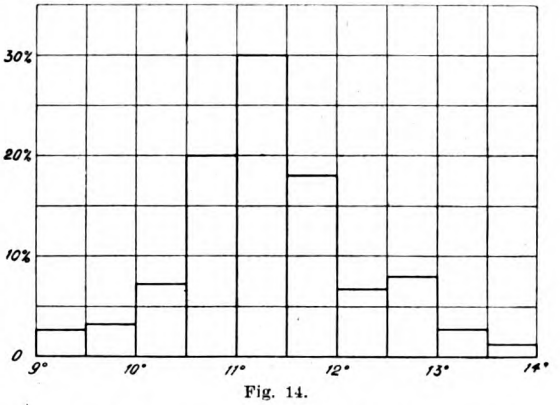


Fig. 14.

Sind die Schnitt- und Achsenfehler ungleichmäßig auf die beiden Teile des Prismas verteilt, so kommt außer einer anteiligen Verschiebung der Gesichtsfeldgrenzen noch ein „Schlagen“ des Prismas zustande, wobei naturgemäß auch eine Keilform der Kittschicht mitwirken kann. Die Mehrzahl der untersuchten Prismen zeigte eine Winkelablenkung von durchschnittlich 2,5—3 Winkelminuten, was darauf schließen läßt, daß bei dem weichen Material ein Einhalten des Schnittwinkels oder der Achsenlage auf etwa 5 Minuten nur sehr schwierig ist. Andererseits zeigt die Rechnung, daß selbst bei Winkeldifferenzen von 10′ im Schnittwinkel die Grenzen des Gesichtsfeldes nur um 15′ verschoben werden, so daß also für die beobachteten Abweichungen in der Lage der Grenzkurven in erster Linie das Kittmaterial verantwortlich gemacht werden muß.

Eine Methode zur Prüfung von photographischen Objektiven durch streifende Abbildung.

Von
Dr. **A. Wetthauer** in Charlottenburg.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg.)

Die Prüfung von photographischen Objektiven wird häufig in den optischen Werkstätten durch die Probetafelaufnahmen vorgenommen. Diese Aufnahmen gestatten durch Vergleich sehr gut eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit verschiedener Objektive. Über die Größe der Objektivfehler erhält man aus diesen Aufnahmen aber keinen Aufschluß.

Für die Herstellung der Objektive und auch für den rechnenden Optiker ist es wünschenswert, zu wissen, wie weit die durch die Rechnung festgelegten Fehler eines Objektives in ihrer Größe bei den einzelnen Objektiven überschritten sind, damit nötigenfalls durch geeignete Änderungen die Eigenschaften des Objektives verbessert werden können.

Die Differenz zwischen der Einstellung des Bildes auf der Mattscheibe in der Objektivachse und der Einstellung für den Bildwinkel außerhalb der Achse, für den der Astigmatismus der Rechnung nach beseitigt sein soll, ist im allgemeinen das einzige Hilfsmittel für die Werkstatt um sich eine Unterlage für vorzunehmende Verbesserungen an Objektiven zu schaffen. Eine andere als visuelle Prüfung kann bei der laufenden Fakrikation von kleinen und mittelgroßen Objektiven wegen der Kosten für die Werkstatt nicht in Betracht kommen.

Die verschiedenen Dichtigkeiten der Mattscheiben, die Zonenfehler der Objektive in der Achse sowie die Coma und der Astigmatismus bringen eine verhältnismäßig große Willkür bei der gewöhnlichen Einstellung auf der Mattscheibe mit sich.

Die Probetafelaufnahmen sowie die erwähnte Werkstattprüfung der Objektive werden bei endlichem Objektivabstand ausgeführt. Für Objektive, die stets für unendlichen Objektivabstand gebraucht werden (Fliegerkameraobjektive) ist es notwendig, die Prüfung entsprechend vorzunehmen, da bei Ebnung des Bildfeldes für einen endlichen Objektivabstand nicht auch notwendig eine Ebnung des Bildfeldes für unendlichen Objektivabstand erreicht zu sein braucht. Es haben sich bei lichtstarken Objektiven Unterschiede in der Durchbiegung des Bildfeldes für endlichen und unendlichen Objektivabstand von mehr als $^1/_{300}$ der Brennweite ergeben.

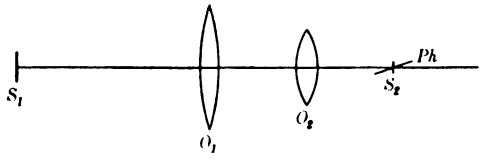


Fig. 1.

Während die Hartmannsche Methode zur Untersuchung der Fehler in der Achse geeignet ist, kommt sie für die Untersuchung der Fehler photographischer Objektive außerhalb der Achse nicht in Betracht. Der Hauptnachteil der Hartmannschen Methode liegt in ihrem Umwege über die Extrafokalaufnahmen, wodurch sie für laufende Untersuchungen auch bei großen Objektiven im allgemeinen zu zeitraubend und infolgedessen zu teuer wird.

Eine Methode, die zwar nicht die Genauigkeit der Hartmannschen Methode besitzt, die aber unmittelbare Ergebnisse von großer Übersichtlichkeit liefert, ist die Methode der streifenden Abbildung, auf die hier näher eingegegangen werden soll.

Die schematische Darstellung dieser Methode für die Untersuchungen in der Achse ist in Fig. 1 im Aufriß wiedergegeben.

Im Brennpunkt des Kollimatorobjektives O_1[1]), befinden sich zwei parallele benachbarte, durch monochromatisches Licht beleuchtbare, senkrecht zur Objektivachse verlaufende Spalte S_1. O ist das zu untersuchende Objektiv, dessen Achse mit der des Kollimators gleichgerichtet ist. Ph ist eine etwa 10^0 zur Objektivachse geneigte photographische Platte, die ungefähr im Brennpunkte des Objektives O_2 von dessen Achse durchstossen wird. Auf dieser photographischen Platte werden die beiden Spalte streifend abgebildet, wobei der untere und obere Teil der Spalte unscharf und der mittlere Teil der Spalte scharf erscheint. Die höchste Schärfe der Abbildung ist an der Stelle des Bildes vorhanden, die auf dem Schnitt der Brennebene des Objektives mit der photographischen Platte liegt. Infolge der sphärischen Aberration der Objektive gehören zu verschiedenen Objektivzonen verschiedene Brennebenen. Man erhält also, wenn man nacheinander die verschiedenen Objektivzonen herausblendet, die schärfsten Stellen der streifenden Abbildung an verschiedenen Stellen der photographischen Platte. Die für das Herausblenden der Zonen notwendigen Ringblenden müssen mindestens so breit sein, daß noch eine scharfe Abbildung (ohne störende Beugungserscheinungen) stattfindet, was bis zu einer Ringbreite von 1 : 100 bis 1 : 125 der Brennweite des zu untersuchenden Objektivs der Fall ist. Die Ringblenden werden zwischen dem zu untersuchenden Objektiv und dem Kollimatorobjektiv angebracht, Fig. 1a zeigt die Abbildung einer solchen Ringblende. Damit sich die von den verschiedenen Zonen herrührenden Bilder nicht stören, wird nach jedem Ringblendenwechsel und erfolgter Exposition die photographische Platte um einen kleinen Betrag ($^1/_2$ bis 1 mm) in ihrer Ebene senkrecht zu ihrer Achse verschoben. Zur bequemen Ausrichtung der Platten bei der Ausmessung ist es zweckmäßig die Aufnahmen mit größter Blende zu beginnen uud diese Aufnahme mit größter Blende zum Schluß zu wiederholen. Senkrecht zur Verbindungslinie der schärfsten Stellen der ersten und letzten Aufnahme sind dann die durch den Kosinus des Neigungswinkels der photographischen Platte zur Achse dividierten Differenzen der Vereinigungsweiten zu messen. Die tatsächlichen Vereinigungsweiten ergeben sich hieraus durch Multiplikation mit dem Kosinus des Neigungswinkels. Es ist vorteilhaft, die erhaltenen Originalaufnahmen gleich auf den bei den Berechnungen der Objektive üblichen Maßstab[2]), nämlich auf die Brennweite $F = 2000$ mm zu vergrößern, man hat dann unmittelbar den Vergleich mit den für die Objektive rechnerisch festgelegten Abweichungen für die sphärische und chromatische Aberration. Je

Fig. 1a.

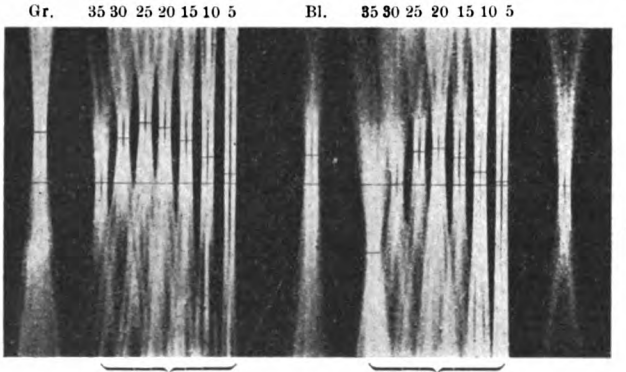


Fig. 2.

[1]) Die Fehler dieses Objektivs müssen nötigenfalls berücksichtigt werden.

[2]) Vgl. M. v. Rohr, Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs. Berlin, Jul. Springer, 1899.

nach der Farbe des für die Beleuchtung der beiden Spalte angewandten Lichtes erhält man die entsprechenden Kurven der sphärischen Aberration. In Fig. 2[1]) sind die Aufnahmen mit blauem (436 $\mu\mu$) und mit grünem (546 $\mu\mu$) Quecksilberlicht gemacht. Der Unterschied der sphärischen Aberration für die beiden Farben ist deutlich erkennbar. Die mit Gr. und Bl. bezeichneten Teilbilder in Fig. 2 sind mit grünem, bzw. blauem Hg-Licht bei voller Objektivöffnung gemacht. Man hat mithin bei dieser Methode die Möglichkeit festzustellen, wo der optische Schwerpunkt der Kurve der sphärischen Aberration liegt.

Die Methode ist für Objektivbrennweiten von 12 cm bis 125 cm praktisch angewandt worden. Sie hat sich dadurch besonders bewährt, daß man ohne Ausmessung an den auf den Maßstab $F = 2000$ mm vergrößerten Originalaufnahmen die verschiedenen Objektivtypen miteinander vergleichen kann.

Diese Methode für die Untersuchung der Objektive außerhalb der Achse ist im Grundriß durch die Fig. 3 dargestellt.

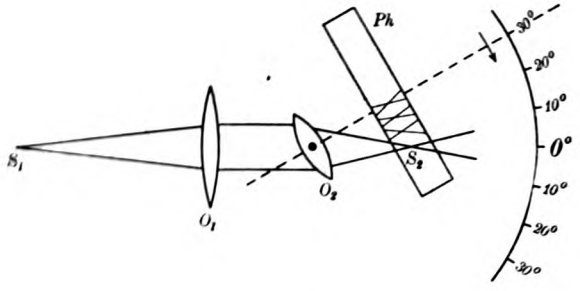


Fig. 3.

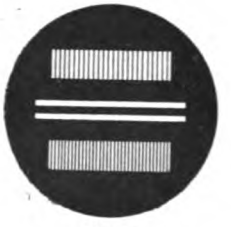


Fig. 4.

Damit man das aus dem Kollimatorobjektiv O_1 austretende Licht in das zu untersuchende Objektiv O_2 unter verschiedenen Winkeln einfallen lassen kann, ist dieses um eine Achse drehbar, die etwa durch seinen vorderen Linsenscheitelpunkt geht. Die Achse verläuft senkrecht zu der Meridionalebene, in der die Prüfung stattfinden soll. Der Ausdehnung des Bildfeldes des Objektivs entsprechend ist die Größe der photographischen Platte Ph zu wählen. Die photographische Platte behält während der sämtlichen Teilaufnahmen bei den verschiedenen Einfallswinkeln ihre Lage zum Objektiv O_2 unverändert bei. Bei diesen Untersuchungen außerhalb der Achse wendet man die beiden benachbarten Spalte in Verbindung mit einer großen Anzahl zu ihnen senkrecht verlaufender Spalte an. Eine Skizze dieses im Brennpunkte des Kollimatorobjektivs angeordneten Objektes zeigt Fig. 4.

Der Doppelspalt steht senkrecht zu der Meridionalebene, in der die Untersuchung der Bildflächen erfolgen soll. Diese Kombination des Doppelspaltes mit den feinen Spalten muß man anwenden, um die beiden Bildflächen, die meridionale und die sagittale, zwischen denen man außerhalb der Objektivachse zu unterscheiden hat, festzulegen. Die meridionale Bildfläche ist der geometrische Ort für die meridionalen Bildpunkte. Der meridionale Bildpunkt eines unendlich fernen Punktes ist der Vereinigungspunkt der Strahlen, welche aus der den unendlich fernen Punkt enthaltenden Meridionalebene bei der Abbildung nicht heraustreten. Durch die Stelle der engsten Einschnürung der streifenden Abbildung des Doppelspaltes bei den verschiedenen Einfallswinkeln des Lichtes wird die Schnittkurve der meridionalen Bild-

[1]) Die Zahlen über der Figur geben den mittleren Radius der Ringblenden an.

fläche mit der Schichtebene der photographischen Platte punktweise bestimmt (vgl. Fig. 5 u. 6). Die sagittale Bildfläche ist der geometrische Ort für die sagittalen Bildpunkte, wobei man unter sagittalem Bildpunkt den Vereinigungspunkt der Strahlen versteht, die bei der Abbildung eines unendlich fernen Punktes aus der diesen Punkt enthaltenden Meridionalebene heraustreten. Die schärfsten Stellen der streifenden Abbildung der feinen senkrecht zu dem Doppelspalt verlaufenden Spalten legen die Schnittkurve der sagittalen Bildfläche mit der Schichtebene der photographischen Platte fest (vgl. Fig. 5 u. 6). Die auf der photographischen Platte in der Achsenrichtung gemessenen Differenzen sind mit dem Kosinus des Neigungswinkels der photographischen Platte zur Objektivachse zu multiplizieren, um (von zu vernachlässigenden kleinen Größen abgesehen) die entsprechenden Differenzen für die Achsenschnittkurve zu erhalten. Da der Neigungswinkel der photographischen Platte etwa 10^0 und $\cos 10^0 = 0{,}985$ ist, kann man bei den meistens kleinen Differenzen von der Multiplikation mit dem Kosinus des Neigungswinkels gewöhnlich absehen, Es sei noch bemerkt, daß man im allgemeinen die Begriffe meridionaler

Fig. 5.

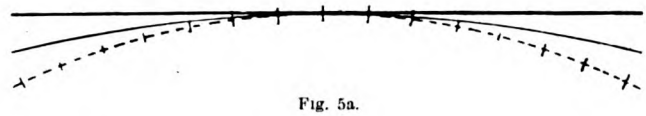


Fig. 5a.

Fig. 6.

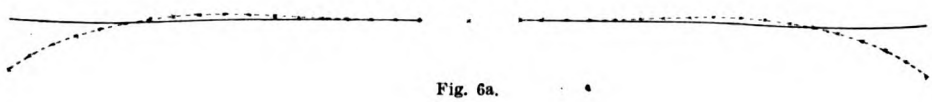


Fig. 6a.

und sagittaler Bildpunkte nur für den Schnittpunkt des dem Hauptstrahl in der Meridionalebene bzw. Sagittalebene unendlich benachbarten Strahles anwendet, während es sich hier um ein Zusammenlaufen oder besser gesagt um ein Zusammendrängen von vielen Strahlen zu den entsprechenden Bildpunkten handelt.

Die beiden Bildflächen eines Objektives sind Rotationsflächen, die sich in der Objektivachse berühren. Für gewöhnliche nicht auf Astigmatismus korrigierte Linsen und Objektive ist die Krümmung der meridionalen Bildfläche stärker als die der sagittalen. Dies ist deutlich in Fig. 5 zu erkennen, worin das Original einer Aufnahme nach der Methode der streifenden Abbidung zur Bestimmung der Bildflächen für ein gewöhnliches Fernrohrobjektiv wiedergegeben ist.

Bei den Anastigmaten durchsetzen sich die beiden Bildflächen bei einem durch die Rechnung festgelegten Bildwinkel. Für diesen Bildwinkel ist also außerhalb der Achse noch einmal eine astigmatismusfreie Abbildung erreicht. Eine Aufnahme zur Bestimmung der Bildflächen eines Anastigmaten ist in Fig. 6 wiedergegeben. Die Bildflächen liegen hier gerade umgekehrt, wie bei dem Objektiv zur Fig. 5.

Innerhalb des Bildwinkels, für den der Astigmatismus überkorrigiert, d. h. die meridionale Bildfläche liegt weiter ab vom Objektiv als die sagittale, während außerhalb dieses Bildwinkels bei umgekehrter Lage der Bildflächen Unterkorrektion des Astigmatismus vorhanden ist, wie man das besonders gut aus den entsprechenden in Fig. 5a und 6a aufgezeichneten Schnittkurven erkennen kann.

Es handelt sich bei diesen Aufnahmen darum, die Abweichungen der Schnittkurven der Bildflächen von der Geraden festzustellen. Man benutzt daher zur Ausmessung der photographischen Aufnahmen ein System von parallelen 1 mm von einander entfernten geraden Linien, wie es in Fig. 7 wiedergegeben ist. Zu diesem Liniensystem

Fig. 7.

wird die photographische Aufnahme so ausgerichtet, das die Achse der Bildflächen senkrecht zu dem Liniensystem liegt, was infolge der Symmetrie der Aufnahmen leicht auszuführen ist. Der Schnitt durch die meridionale Bildfläche ist, wie erwähnt, durch die Stellen der engsten Einschnürung der streifenden Abbildung des Doppelspaltes, der Schnitt durch die sagittalen Bildfläche durch die Stellen größter Schärfe der Abbildung der feinen Spalte gegeben.

Bei gut auf Coma korrigierten Objektiven kann man die Lage der Bildflächen auf etwa $\pm {}^{1}/_{20}$ mm genau bestimmen. Es liegt in der Eigenschaft der Objektive mit starker Coma begründet, daß die Lage der Bildflächen je nach der Stärke der Coma mehr oder weniger genau zu bestimmen ist.

Während die Methode der streifenden Abbildung zur Bestimmung der sphärischen und chromatichen Aberration infolge der geringen Helligkeit nur photographisch brauchbar ist, kann man sie zu Bestimmung der Bildflächen auch visuell gebrauchen. An Stelle der photographischen Platte tritt dann ein mit senkrecht zur Objektivachse verlaufendem schwarzem Strich versehener Gipsschirm der durch Mikrometertrieb in der Richtung der Objektivachse verstellbar ist. Durch Drehen an dem Mikrometertrieb wird die Stelle der engsten Einschnürung bzw. die Stelle der besten Schärfe mit dem Strich zur Deckung gebracht. Auf diese Weise ist es möglich entsprechende Messungen zu machen, wie an den Aufnahmen für die Bestimmung der Bildflächen. Natürlich kann man z. Zt. immer nur für einen Winkel die Einstellung machen. Ein Apparat mit mehreren Kollimatoren ist für die visuelle Anwendung der Methode vorzuziehen. Die Methode hat der gebräuchlichen Werkstattprüfung gegenüber den Vorteil der angenehmeren Beobachtung sowie der Unabhängigkeit von der Dichtigkeit der Mattscheibe und damit der größeren Zuverlässigkeit.

Organische Flüssigkeiten zum Füllen hochgradiger Fabrikthermometer.

Von

Dr. **Guido Moeller.**

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Es liegt auf der Hand, daß das Quecksilber in seiner Eigenschaft als Thermometerflüssigkeit von keiner anderen Flüssigkeit erreicht wird. Trotzdem sieht man oft von der Quecksilberfüllung ab, so z. B. bei Fabrikthermometern, wo es nicht so sehr auf die Genauigkeit als auf die Schnelligkeit der Ablesung ankommt und wo es sich vielfach um größere Instrumente handelt, so daß auch der hohe Preis des

Quecksilbers schon in Betracht kommt. Auf äußere Anregung wurden Versuche angestellt, für die Herstellung solcher hochgradiger Thermometer passende organische Flüssigkeiten auszuprobieren.

1. Unter den in Frage kommenden Stoffen schienen solche einen Erfolg zu versprechen, die als Siedeflüssigkeiten in den Rudbergschen Siedeapparaten der Reichsanstalt verwendet worden waren, insbesondere die erst in hohen Temperaturen bei 150°, 200° und 260° siedenden Verbindungen Cumol, Methylbenzoat und Amylbenzoat[1]).

Die Versuche haben in der Tat ergeben, daß alle drei Flüssigkeiten zur Thermometerfüllung auch bei ganz eintauchendem Faden bis nahe an ihre Siedepunkte brauchbar waren, sofern man nur dafür Sorge trug, daß die Thermometer Luft über dem Flüssigkeitsfaden enthielten. Da die Thermometer nach dem Füllen bei Zimmertemperatur und Atmosphärendruck zugeschmolzen wurden, so betrug der Druck in ihnen etwa eine Atmosphäre.

Alle drei Flüssigkeiten sind indessen farblos, wodurch die Ablesung der Thermometersäule aus einiger Entfernung schwierig ist. Es wurde deshalb weiter versucht, einen geeigneten Farbstoff anzuwenden, der sich in der Flüssigkeit gut löst und der auch höheren Temperaturen standhält.

Die zuerst verwendeten roten und blauen Teerfarbstoffe, welche die Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation zur Verfügung stellte, haben sich nicht bewährt, weil, abgesehen von der geringen Färbekraft dieser Stoffe an sich auch meistens schon unterhalb 200° eine starke Abschwächung der Farbe eintrat, die, wie die Entwicklung von Gasblasen erkennen ließ, auf eine Zersetzung zurückzuführen ist. Deshalb wurden die Versuche hiermit nach einiger Zeit abgebrochen. Dagegen hatten die folgenden Versuche mit Asphalt vollen Erfolg.

Syrischer Asphalt wurde in der Flüssigkeit, welche zum Füllen der Thermometer Verwendung finden sollte, gelöst, dann diese konzentrierte Lösung filtriert und davon der Füllflüssigkeit soviel zugesetzt, daß diese in der Kapillare des Thermometers eine deutliche dunkelbraune Färbung bekam, welche ein sicheres Ablesen des Thermometers auch aus der Entfernung ermöglichte. Zu einer solchen Färbung braucht man etwa 1% des Asphalts, also etwa 2 g auf 200 g Füllflüssigkeit.

Die für die Ausdehnungsbestimmungen benötigten Dilatometer wurden als Stabthermometer hergestellt, mit Quecksilber gefüllt, ausgekocht und sorgfältig kalibriert. Die Kalibrierung geschah in der Weise, daß vor der endgültigen Teilung der Instrumente unter Benutzung eines Maßstabes Fäden von 50 und 100 mm Länge in der Kapillare verschoben und gemessen wurden. Nach der Kalibrierung wurde dann der Inhalt von Gefäß und Kapillare mit Quecksilber ausgewogen und somit das Verhältnis der Kapillare zum Gefäß bestimmt[2]).

Zur Aufstellung der Mutterteilungen wurden nun je zwei dieser Versuchsinstrumente aus Jenaer Glas 16^{III} mit gefärbtem Cumol, Methylbenzoat und Amylbenzoat gefüllt und mit einer Teilung versehen, derart, daß man das Intervall zwischen ihrem Eispunkt und Wassersiedepunkt in 100 Teile teilte und die Teilung über 100° gleichmäßig fortsetzte. Die so vorgerichteten Instrumente wurden dann von 50° zu 50° in Temperaturbädern mit Normalinstrumenten verglichen. Hierbei ergab sich

[1]) Die Flüssigkeiten sind von der Firma C. A. F. Kahlbaum, Berlin, Adlershof bezogen worden.

[2]) Die Wägungen hat Herr Dr. H. Disch ausgeführt.

für die mit gleicher Flüssigkeit gefüllten beiden Versuchsinstrumente eine Übereinstimmung ihrer Angaben auf etwa $^1/_2{}^0$. Alle Thermometer sind in 8 Vergleichsreihen auf die höchste Temperatur ihrer Skale erhitzt worden. Nach jeder Vergleichsreihe wurde durch Kontrolle des Eispunktes festgestellt, daß die Instrumente sich nicht verändert hatten. Die Dauer aller Erhitzungen betrug etwa 25 Stunden. Sämtliche Beobachtungen für jede Flüssigkeitssorte wurden dann zusammengefaßt und ausgeglichen. Das Resultat ist in der folgenden von 10^0 zu 10^0 fortschreitenden Tabelle wiedergegeben:

Mutterteilungen der Flüssigkeitsthermometer aus Jenaer Glas 16^{III}.

t	Cumol	Methylbenzoat	Amylbenzoat
0	0	0	0
10	8,2	9,3	9,4
20	18,4	18,6	18,8
30	27,8	28,1	28,4
40	37,3	37,7	38,1
50	47,1	47,7	47,9
60	57,2	57,9	58,1
70	67,7	68,3	68,4
80	78,3	78,8	78,9
90	91,1	89,4	89,4
100	100,0	100,0	100,0
110	111,8	111,2	111,0
120	124,1	123,1	122,6
130	136,8	135,4	134,7
140	149,7	148,0	147,0
150	162,7	160,7	159,5
160		173,9	172,4
170		187,8	185,5
180		202,0	199,0
190		217,0	212,7
200		232,6	226,8
210			241,2
220			256,3
230			272,0
240			287,9

Die Zahlen der Tabelle bedeuten die Entfernung zwischen den Teilstrichen 0^0 und t^0 eines Thermometers bei ganz eintauchendem Flüssigkeitsfaden mit korrigiertem Kaliber, wobei als Einheit der 100. Teil der Entfernung zwischen den Teilstrichen 0^0 (Eispunkt) und 100^0 (Siedepunkt) dient.

Zur Vermeidung von Irrtümern sei bemerkt, daß also z. B. bei einem mit Methylbenzoat gefüllten Thermometer an die durch Kalibrierung gefundene Skalenstelle 232,6 der Punkt 200^0 fallen, also die Teilung über 100^0 um $32{,}6^0$ auseinandergerückt werden muß.

2. Da die Instrumente vor ihrer Fertigstellung ausgewogen waren, so war die Möglichkeit gegeben, aus dem Gefäß- und dem Kapillareninhalt und den Vergleichungen mit Normalthermometern den mittleren scheinbaren Ausdehnungskoeffizienten im Glase 16^{III} für die drei Flüssigkeiten zu ermitteln. Es ergaben sich folgende Werte:

	0—50°	0—100°	0—150°	0—200°
Cumol	0,00093	0,00099	0,00108	—
Methylbenzoat .	0,00089	0,00093	0,00100	0,00109
Amylbenzoat .	0,00086	0,00090	0,00096	0,00102

Diese Werte für die scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeiten wurden später der Berechnung der Fadenkorrektion zugrunde gelegt.

Die durch Berücksichtigung der Glasausdehnung weiterhin berechnete mittlere Ausdehnung der Flüssigkeiten allein ergibt Werte, welche mit den von H. F. Wiebe[1]) gefundenen hinreichend übereinstimmen, wenn man bedenkt, daß die verwendeten Flüssigkeiten einen Fremdstoff enthielten. Die Ausdehnungskoeffizienten sind in nachstehender Tabelle aufgeführt:

	Zwischen							
	0—50°		0—100°		0—150°		0—200°	
	Moeller	Wiebe	Moeller	Wiebe	Moeller	Wiebe	Moeller	Wiebe
Cumol	0,00096	—	0,00102	—	0,00110	—	—	—
Methylbenzoat	0,00092	0,00090	0,00096	0,00096	0,00103	0,00102	0,00112	0,00110
Amylbenzoat .	0,00089	0,00086	0,00093	0,00090	0,00099	0,00096	0,00105	0,00102

3. In der Technik werden meistens Thermometer gebraucht, welche bei ganz oder teilweise herausragendem Flüssigkeitsfaden richtig zeigen sollen.

Um die Temperatur zu bestimmen, die bei den gebräuchlichen Bädern für den herausragenden Faden anzunehmen ist, wurden mit den mit Methylbenzoat und Amylbenzoat gefüllten Instrumenten einige Versuche angestellt, bei denen die Thermometer einmal ganz in ein Bad von t^0 eintauchten, das andere Mal bis zum Teilstrich 50° herausgezogen wurden. (Sie schon von 0° an herausragen zu lassen, ging bei diesen unten sehr kurzen Thermometern nicht an, weil sonst das Gefäß nicht genügend eingetaucht hätte.) Aus der beobachteten Differenz D der beiden Ablesungen

$$D = n\,(t - t')\,\alpha$$

konnte dann t' berechnet werden. In dieser Formel bedeuten n die Anzahl der herausragenden Skalengrade, t die wahre Temperatur des Bades, t' die mittlere Temperatur des herausragenden Fadens und α den scheinbaren Ausdehnungskoeffizienten der Flüssigkeit im Glase 16^{III}.

Die gefundenen Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

t	Methylbenzoat t'	Amylbenzoat t'
100°	57°	57°
125	49	49
150	40	40
175	43	43
200	46	48

4. Die Zahlen für t' zeigen, daß die Temperatur des herausragenden Fadens bei diesen Stabthermometern höher ist, als man im allgemeinen bei Einschluß-Quecksilberthermometern findet. Selbstverständlich können die gefundenen Werte keine

[1]) H. F. Wiebe, Diss. Tübingen 1894 und Landolt-Börnsteins Tabellen. 4. Aufl. S. 347. Tab. 102b.

allgemeine Gültigkeit beanspruchen, denn die Temperaturen werden mit der Länge des herausragenden Fadens, mit seinem Querschnitt, mit der Wärmeleitfähigkeit der Füllflüssigkeit, mit der Temperatur der Umgebung über dem Bade, sowie von Stab- zu Einschlußthermometern erheblich schwanken, immerhin geben sie doch einen greifbaren Anhalt zur Schätzung für allgemeine Fälle. Da es ferner bei Temperaturmessungen in der Technik, wenn man Thermometer mit herausragender Skale benutzt, im allgemeinen wohl nur auf eine Genauigkeit von etwa 1^0 ankommt, so kann man für die Praxis mit Mittelwerten für alle Gebrauchstemperaturen dieser Thermometer und für alle vorkommenden Längen des herausragenden Fadens rechnen. Nimmt man dann als mittlere Temperatur des Fadens rund 45^0 an, so würden für eine Mutterskale für Thermometer, deren Faden von der Skalenstelle 0 an herausragt, folgende Werte anzunehmen sein:

t	Cumol	Methylbenzoat	Amylbenzoat
100	100	100	100
125	127	126	126
150	154	153	152
175	—	181	179
200	—	209	205

Die Genauigkeit solcher Thermometer dürfte etwa 1 bis 2^0 erreichen.

Referate.

Ueber den Wert extrafokaler Aufnahmen mit parabolischen Spiegeln.

Von A. Prey, *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **123.** *S. 1859, 1914.* **127.** *S. 2253. 1918.*

Während man bisher extrafokale Aufnahmen wesentlich zu photometrischen Zwecken machte, will der Verfasser sie auch zu Positionsbestimmungen von Sternen verwenden. Er führt aus, daß letztere bei Aufnahmen mit kurzbrennweitigen Reflektoren im Brennpunkt durch große und unsymmetrische Bildfehler sehr erschwert werden, während bei extrafokal aufgenommenen Sternbildern die dadurch wesentlich auseinander gezogenen Bilder leicht erkennbare und sicher pointierte Stellen aufweisen, die man zu Positionsmessungen vorteilhaft benutzen kann.

Um dieses darzustellen entwickelt er den Abbildungsvorgang bei einem parabolischen Spiegel ausführlich und bestimmt die Abbildungsfehler mit Hilfe der von W. Crockett zu diesem Zwecke entwickelten Formeln. Das wesentliche Ergebnis dieser Untersuchung ist, daß das Bild eines Sternes in der Brennpunktebene die Form einer Kurve hat, welche einen in sich hineingeschlagenen Achter bildet, daß aber bei Entfernung aus dieser Ebene diese Figur sich in eine ellipsenförmige Kurve auflößt. In dieser Figur erkennt man dann deutlich den Schatten der in der Mitte des Spiegelrahmens angebrachten Plattenfassung als lichten kreisrunden Fleck, der so gut definiert ist, daß er eine erhebliche Einstellungsgenauigkeit gewährt, während fokale Sternaufnahmen zu Positionsmessungen vollständig unbrauchbar sind.

Der Verf. belegt dieses durch in der Abhandlung wiedergegebenen Aufnahmen mit dem Reflektor der Insbrucker Sternwarte, der bei 400 mm Oeffnung eine Brennweite von 1 m, also ein Oeffnungsverhältnis von 1:2,5 besitzt.

In der zweiten Veröffentlichung bringt der Verf. nun eine Anzahl von exakten Messungen an Aufnahmen der Plejadengruppe mittelst des Innsbrucker Reflektors, die 2 mm außerhalb des Brennpunktes gemacht wurden. Die Ausmessung unter dem Mikroskop wurde durch zwei senkrecht zu einander stehende Meßschrauben ausgeführt. Während die eine dieser Schrauben in einwandfreier Weise den Rahmen mit der Platte seitlich verschob, wobei unter Zuhilfenahme einer Okularteilung noch hundertstel Millimeter geschätzt werden konnten, war die andere Schraube von unten nach oben gerichtet und der Plattenrahmen ruhte mit seinem Gewicht auf dem Schrauben-

ende auf. Sichere Führung des Rahmens und sicherer Kontakt von Rahmen und Schraubenende kommen hier mit einander in Widerstreit. Trotzdem waren die Ergebnisse der Messungen sehr befriedigend, indem der mittlere Fehler einer Position nur $\pm$ 1,4 Sekunden war, so daß man mit fokalen Aufnahmen kaum mehr erreicht haben würde. Es ist aber anzunehmen, daß man mit Reflektoren von größerer Brennweite und namentlich unter Benutzung eines allen Anforderungen genügenden Meßapparates die Genauigkeit erheblich wird steigern könne. *H. Krüss.*

Über terrestrische Refraktion.

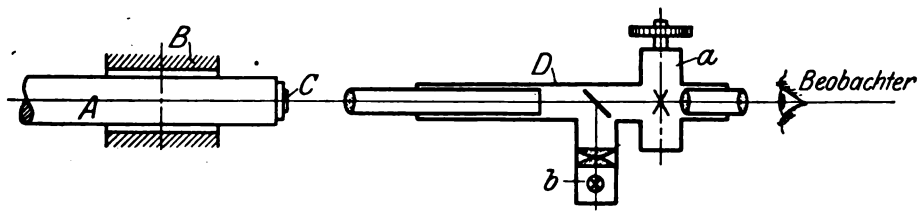
Von A. R. Melord, *Phil. Mag.* **38**, *S. 546. 1919.*

Der Verf. stellt seine Untersuchungen über die atmosphärische Refraktion hauptsächlich in den Dienst der Luftschiffahrt, wo sie für genaue Beobachtungen über die Höhe von Flugzeugen und Luftschiffen von Nutzen sind. Gegenüber der allgemeinen Annahme, daß alle Strahlen in ihrem Verlauf durch die verschiedenen Luftschichten Kreisbögen von demselben Radius sind, zeigt er, daß diese Annahme weiter von der Wahrheit entfernt ist als die Ergebnisse eines empirischen Gesetzes, welches er benutzt, um die Refraktion für verschiedene Zenithdistanzen und verschiedene Höhen bis zu 8 km darzustellen. Er beschränkt sich dabei auf einen Lichtstrahl von der Wellenlänge von 500 $\mu\mu$. Umgekehrt vergleicht er die durch seine Näherungsformel zu errechnenden Dichtigkeiten der Luftschichten bis zu 15 km Höhe mit den unmittelbar beobachteten. Der Verfasser meint, daß seine Methode auch für astronomische Beobachtungen wertvoll sein könne, sobald man die Dichtigkeit der Atmosphäre in höheren Luftschichten festgestellt haben wird. *H. Krüss.*

Bestimmung der Dicke der Ölschicht bei Lagern.

Von V. Vieweg, *Arch. f. Elektrotechnik* **8**, *S. 364. 1920.*

Der Verfasser berichtet in der Wiedergabe eines im Verein Deutscher Maschinenbauanstalten gehaltenen Vortrages über eine gemeinsam mit A. Wetthauer ausgearbeitete Methode zur Messung der Verlagerung umlaufender Wellen. Bei dem Problem der Lagerreibung handelt es sich im wesentlichen um hydrodynamische Vorgänge. Nach der Theorie von Reynolds und Sommerfeld liegt bei einem geschlossenen, rundum geschmierten Lager der Zapfen in der Ruhelage unten auf, mit zunehmender Drehzahl hebt er sich einerseits, anderseits weicht er im Sinne der Drehbewegung, von der untersten Stelle des Lagers aus gesehen, senkrecht gegen den Zapfendruck aus und schiebt sich über die Schmiermittelschicht hinweg. Es handelt sich um Bewegungen des Zapfens in der Grössenordnung von Null bis etwa 150 μ. Um diese kleinen Bewegungen des Zapfens



Schematische Meßanordnung.
A Welle. *B* Lager. *C* Kreuzgitter (Raster). *D* Mikroskop. *a* Okularmikrometer. *b* Beleuchtung.

in dem Lager zu messen, wurde eine neue optische Methode entwickelt. Auf der Stirnfläche der zu untersuchenden Welle wurde ein poliertes Metallplättchen mit einem Kreuzgitter (Raster) von 2 bis 4 μ Strichabstand befestigt. Rotiert dieser Raster mit der Welle, so bildet sich bei Beleuchtung mit diffusem Lichte der Schnittpunkt der Rotationsachse der Welle mit der Gitterebene als ein mikroskopisch feiner, fast schwarzer Punkt aus, während die übrige Fläche des rotierenden Rasters weiß erscheint. Die Bewegung dieses Punktes und damit die Bewegung der Welle wurde mit einem Mikroskop mit Okularmikrometer gemessen. In der Figur ist die schematische Meßanordnung wiedergegeben. Diese neue optische Methode gestattet eindeutig die dynamische Achse eines Zapfens festzulegen.

Mit der Meßanordnung wurde die Höhen- und Seitenbewegung des Zapfens im Lager bei Schmierung mit Mineralöl und Petroleum aufgenommen. Die Versuche wurden in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgeführt. *Vg.*

Ausdehnbarkeit und Thermoelastizität der Nickelstahle. (Die Elinvar-Spiralfeder.) *Von* Chr. Ed. Guillaume. *Deutsch. Uhrm.-Ztg. 45. S. 48 u. 57. 1921.*

Die Hauptaufgabe der Kompensationsunruhe im Chronometer ist der Ausgleich der thermischen Änderung der Elastizität der Spiralfeder. Spiralfedern aus einem Material, dessen Elastizitätsänderung mit der Temperatur Null ist, erlauben, an Stelle der teuren Kompensationsunruhen einmetallige Unruhen zu verwenden. Nickelstahl mit 29% bzw. 45% Ni zeigt diese Konstanz des Elastizitätsmoduls und hat deshalb schon seit vielen Jahren zu Spiralen in einfachen Taschenuhren Verwendung gefunden. Für Präzisionsuhren war die dabei erreichbare Regulierung nicht ausreichend. Systematische Untersuchungen über den Einfluß anderer Legierungsmetalle, namentlich Chrom und Mangan, auf die Thermoelastizität des Nickelstahls haben Guillaume zur Auffindung eines geeigneten Federmaterials, des Elinvar, geführt. Es ist ein Nickelstahl mit ca. 37% Ni und 12% Cr. Praktische Versuche mit Elinvar haben Gänge ergeben, welche voraussehen lassen, daß die einmetallige Unruhe bei richtiger Wahl ihrer thermischen Ausdehnung zusammen mit der Elinvarspirale in Zukunft auch in Präzisionsuhren Verwendung finden kann. *G.*

Bücherbesprechungen.

G. Berndt, Kompendium der Experimentalphysik. (Kollegienhefte, Bd. II.) 2. Aufl. 8°. XII 211 S. mit 59 Textfig. Leipzig, S. Hirzel, 1920. Geb. 16 M. (+ Tz.)

Die hier in neuer, entsprechend der Entwickelung erweiterter Auflage vorliegenden Kollegienhefte werden vielen eine willkommene kurze Übersicht über die Hauptgesetze der Physik geben. Entsprechend der Hervorhebung der experimentellen Seite sind die mathematischen Anforderungen an den Leser gering. Durch sehr vollständige Hinweise auf die Spezialliteratur wird die Vertiefung der gebotenen Grundlagen in willkommener Weise erleichtert. *G.*

Curt Sachs, Handbuch der Musikinstrumentenkunde. 8°. XII, 412 S. mit 156 Abb. Leipzig, Breitkopf & Härtel, 1920. Geb. 25 M. (+ Tz.)

Ein Handbuch der Musikinstrumentenkunde ist nicht nur für die Musiker von größtem Interesse, sondern auch für den Physiker und Mechaniker. Aus diesem Grunde sei das Buch auch an dieser Stelle angezeigt und warm empfohlen. Einer der hervorragendsten Fachmänner auf dem Gebiete der akustischen Instrumente breitet hier seine außerordentlichen Kenntnisse aus. Unwillkürlich erwacht in dem Leser der Wunsch nach einem ähnlich vollständigen Werk über das große Gebiet der wissenschaftlichen Instrumente. *G.*

M. von Rohr, Die binokularen Instrumente. Nach Quellen und bis zum Ausgang von 1910 bearbeitet. 2. vermehrte u. verbesserte Aufl. XVII, 303 S. m. 136 Textabb. Berlin, J. Springer. 1920. 40 M., geb. 47,60 M.

Indem der Verfasser den älteren Quellen nachspürte, ist es ihm gelungen, ein vollständigeres Bild von der wissenschaftlichen Behandlung des beidäugigen Sehens in der Zeit vor Wheatstone zu geben. Das von einem Hohlspiegel entworfene Luftbild hat schon die griechischen Beobachter beschäftigt und der bekannte Astronom Ptolemaeus wurde dadurch zu wichtigen Versuchen über das beidäugige Sehen angeregt. Sein Lehrbuch der Optik ist leider nicht gut überliefert, aber seine Kenntnisse wurden von den Arabern zum Teil bewahrt und weiter von dem Geistlichen Witelo (um 1271) dem Westen übermittelt. An ihn knüpft dann Kepler an, der bereits zu der grundlegenden Erkenntnis vordrang, daß das im Raume empfundene Bild durch die gleichzeitige Betrachtung zweier flächenhafter Einzelbilder zustande kommt. In diesem Jahrhundert spielten die Klostergeistlichen eine wichtige Rolle, indem sie nicht nur die Spiegelversuche weiter verfeinerten, sondern sich auch die Verbesserung des Doppelfernrohrs angelegen sein ließen. Die letzten bis auf J. Lipperhey zurückgehenden Versuche verschwanden im 17. und 18. Jahrhundert

nie völlig. Nach jener Zeit beginnen einige Erfinder ihre zunächst noch nicht von Erfolg gekrönten Versuche mit Geräten nach Art der Fernrohrbrille, bis 1823 in Wien von Fr. Voigtländer die Verbindung zweier achromatischer Operngläser erfunden wird, die 1825 durch Lemière in Paris einen glücklichen Ausbau in mechanischer Hinsicht erfährt. Die Schicksale dieser für die große Menge der Käufer neuen Einrichtung sind in der neuen Auflage wesentlich deutlicher bis in die 60er Jahre verfolgt worden, wo auch zuerst die Prismengläser und die zunächst von ihnen getrennten Doppelfernrohre mit erweitertem Objektivabstande auftraten, damals machte sich auch der Einfluß der Pariser Weltausstellung auf die deutsche Optik geltend. Die Kircherschen Spiegelscherze wurden gegen Ende des vorigen Jahrhunderts von B. Horstmann aufgenommen und weiterhin von Fr. Sallé und I. G. Bostock bis zu den Darstellungen lebender Puppen gesteigert.

Grundsätzlich sind auch die Arbeiten an der beidäugigen Brille aufgenommen worden, weil namentlich die astigmatische Brille auf eigenartige und gelegentlich sehr störende Tiefenfälschungen führen kann. Die Aufgabe der Aufklärung des Zusammenhangs zwischen Akkommodation und Konvergenz hat die Physiologen zu wichtigen Versuchen angespornt, als deren Frucht auch das Heringsche Spiegelhaploskop anzusehen ist. Verwandt damit sind die Bemühungen um die beidäugige Farbenmischung und die Farbenstereoskopie. Die erste Aufgabe geht bis 1717 zurück; es kam erst 1772 zu einer bejahenden Antwort; der Streit um die richtige Behandlung beschäftigt die Physiologen bis auf den heutigen Tag. Die Farbenstereoskopie ist besonders durch E. Brücke gefördert worden, bis W. Einthoven 1885 mit der Durchführung seiner Versuche auf dem Grunde der Strahlenbegrenzung den heutigen Stand der Ansichten begründete.

Bei den Stereoskopen ist für die 90er Jahre die Lücke der ersten Auflage ausgefüllt worden, indem die Berthierschen verschränkten Halbbilder von 1896 ihren gebührenden Platz erhielten. Nach den ebensowenig erfolgreichen Versuchen Jacobsons von 1898 hat dann 1902 Fr. E. Ives dies schöne Verfahren weiteren Kreisen nahebringen können. In der Reihe der binokularen Instrumente finden sich nun auch Augenspiegel, Ohr-, Korneallupe.

Hinzugekommen ist das 7. Kapitel über den allgemeinen Fortschritt im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts, in dem Wissenschaft und Technik sich der Verbesserung der binokularen Instrumente mit lebhaftem Interesse zuwandten; die Theorie wurde nicht nur weiter ausgebildet, sondern auch ihre Forderungen beim Bau der Instrumente mehr berücksichtigt. Leider hat sich das Verständnis der Käufer nicht in dem gleichen Maße entwickelt. Neben dem Stereoskop wurden die Aufnahmeverfahren und -Apparate verbessert, aber auch für Brille, Lupe, Mikroskop und Fernrohr zum beidäugigen Gebrauch war die Tätigkeit der Erfinder rege; die Geschichte des beidäugigen Entfernungsmessers ist weiter fortgeführt.

Bei dem reichen Stoff ist ein Sachverzeichnis von besonderem Wert. Um das Auffinden zu erleichtern, hat der Verfasser eine systematische Einteilung streng durchgeführt und deren Grundsätze vorher auseinandergesetzt. Daß dabei die Strahlenbegrenzung wie z. B. für Trennung zwischen unterbrochener und ununterbrochener Abbildung eine Rolle spielt, ist nicht zu verwundern. *A. K.*

F. Paul Liesegang, Wissenschaftliche Kinematographie. Einschließlich der Reihenphotographie. Unter Mitarbeit von Dr. Karl Kieser und Prof. Oswald Polimanti. Neubearbeitung des zweiten Teiles der 5. Aufl. des Handbuches der praktischen Kinematographie. 8°. VIII, 352 S. m. 146 Abb. Düsseldorf, Ed. Liesegang. Geb. 48 Mk. u. 20 % T.Z.

Das Buch gibt eine sehr vollkommene Übersicht über die Entwicklung und den jetzigen Stand der Kinematographie an sich und über ihre wissenschaftliche Anwendung. Die Verfasser haben sich in die Bearbeitung des umfangreichen Stoffes derart geteilt, daß Liesegang den instrumentellen Teil, Kieser den photographischen Teil, Polimanti (Leiter des physiolog. Institutes der Universität Perugia) die Anwendung der Kinematographie in der Naturwissenschaft, der Medizin und im Unterricht behandelt. Ein umfangreiches Verzeichnis der hauptsächlichsten Arbeiten, die für die wissenschaftliche Kinematographie von Belang sind, ermöglicht dem Leser, auf wichtige Quellen zurückzugehen. Zwei größere Nachträge, sowie Sach- und Namensverzeichnis beschließen das auch technisch gut ausgestattete Buch. *G.*

Hager-Mez, Das Mikroskop und seine Anwendung. 12 umgearb. Aufl. 8°. VIII, 389 S. m. 495 Textfig. Berlin, Julius Springer. 1920. Geb. 38 M.

Das Buch ist in erster Linie für den Anfänger in der Mikroskopie bestimmt. Die ersten beiden umfassenden Abschnitte (S. 1—85) sind der Theorie und der mechanischen Einrichtung des Mikroskopes gewidmet, seiner Prüfung, Pflege und Handhabung einschl. Herstellung der Präparate. Der Hauptteil des Buches beschäftigt sich mit den Objekten, mit einer Vollständigkeit und Gründlichkeit, die allen Bedürfnissen Rechnung trägt. Die sehr schönen und zahlreichen bildlichen Darstellungen der Präparate verdienen besonderer Hervorhebung. Durch Verwendung sehr guten Papieres kommen die Feinheiten der Abbildungen auf das beste zur Geltung. *G.*

Prof. Dr. G. Berndt, Radioaktive Leuchtfarben. Sammlung Vieweg, Tagesfr. a. d. Gebieten der Naturw. u. der Technik, Heft 47, 1920; 28 Fig. u. 1 Tafel.

Verf. entwickelt anschaulich die wissenschaftlichen Grundlagen, die zum Verständnis des radioaktiven Leuchtprozesses erforderlich sind, beschreibt die Methoden zur Messung und Prüfung der Leuchtfarben und gibt unter Benutzung eigener Untersuchungen und Erfahrungen, wohl zum erstenmal, eine zusammenfassende Darstellung der verschiedenartigen Leuchtmassen (Radium-, Radiothor-, Mesothor-Leuchtfarben), ihrer Vor- und Nachteile, der Herstellung, Haltbarkeit, Ökonomie usw. *Wr.*

H. Geiger und **W. Makower,** Meßmethoden auf dem Gebiet der Radioaktivität. Bd. 65 der Wissenschaft, Sammlung von Einzeldarstellungen aus den Gebieten der Naturwissenschaft und der Technik. 8°. IX, 156 S. mit 61 Abb. Braunschweig, Fr. Vieweg und Sohn, 1920; geb. 10 Mk. und Tz.

Ganz aus der Praxis hervorgegangen, bietet das vorliegende Buch eine vorzügliche Einführung in die experimentelle Technik der Strahlungsmessung. In einfacher Darstellung werden einleitend die Meßmethoden und die zugehörigen Hilfsapparate, alles vom Standpunkt des Praktikers aus, besprochen. Weitere Abschnitte behandeln dann die Ionisation der Gase, die verschiedenen Arten der Strahlungen und ihre Eigenschaften, die aktiven Niederschläge und den radioaktiven Rückstoß, die Gesetze des radioaktiven Zerfalls, die Gehaltsbestimmung radioaktiver Präparate und die Methoden der Trennung von radioaktiven Substanzen. Den Schluß bilden in sehr wünschenswerter Weise eine Reihe von Tabellen der radioaktiven Konstanten und solche für den Aktivitätsabfall. Alles in allem ein sehr empfehlenswertes Buch auch für denjenigen, der bereits auf diesem Gebiet gearbeitet hat. *Wr.*

Dr.-Ing. W. v. Krukowski, Vorgänge in der Scheibe eines Induktionszählers und der Wechselstromkompensator als Hilfsmittel zu deren Erforschung. Mitteilung aus dem Zählerlaboratorium der Siemens-Schuckertwerke. 8°. 139 S. m. 63 Abb. Berlin, Julius Springer, 1920. 20 M.

Im 1. Teil des Buches gibt der Verfasser eine ausführliche, klare Darstellung über das Wesen der Trieb- und Bremsströme und die Berechnung ihres Verlaufes und des Drehmomentes in der Scheibe eines Induktionszählers. Es werden dann wertvolle Versuchsergebnisse aus dem Zählerlaboratorium der Siemens-Schuckertwerke mitgeteilt. Die Versuche erstrecken sich auf Messungen des Bremsmomentes an der ruhenden und bewegten Zählerscheibe. Bei der letzteren wird das Drehmoment mittels eines geeichten Motors, der die Bremsscheibe antreibt, bestimmt. Zuletzt werden noch Einzelheiten über die Apparate und die Ausführung der Versuche berichtet.

Der 2. Teil des Buches handelt vom Wechselstromkompensator. Unter Berücksichtigung der einschlägigen Literatur werden die theoretischen Grundlagen der Methoden gegeben und die Fehlerquellen erörtert. Eine besondere Meßeinrichtung mit allem Zubehör wird eingehend beschrieben.

Nicht nur wegen des wertvollen Versuchsmaterials hat das Buch für den Zählerspezialisten ein großes Interesse, sondern auch wegen der ausführlichen Darstellung des Wechselstromkompensators und seiner Einrichtungen dürfte es jedem Meßtechniker bei Wechselstrommessungen ein willkommener Leitfaden sein. *Vg.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

AUG 11 1921

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

GENERAL LIBRARY
AUG 12 1921

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
V. v. Lang in Wien, **R. Straubel** in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

6. Heft: Juni.

Inhalt:

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1920 (Schluß von S. 143) S. 161. — Prof. Dr. Schweydar Die photographisch registrierende Eötvössche Torsionswage der Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau S. 175. — Dr. A. Wetthauer, Ein Apparat zur Bestimmung der sphärischen und chromatischen Aberration von Objektiven nach der Foucaultschen Messerschneidenmethode S. 184. — K. Schiller, Eine einfache Registriervorrichtung für das Zöllnersche Photometer S. 187.

Referate: Der Autoredukteur von Leemann-Kern S. 189. — Hensoldt's Kreuzvisier S. 190. — Der Kreiselkompaß im Schachtbau S. 191.

Bekanntmachung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt S. 192.

Berichtigung S. 192.

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich 3 6 12 mal. Aufnahme
10 20 30% Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch. Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Zeitschriften-Bezug und einzelne Hefte: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für alle übrigen Zahlungen (für Anzeigen und Bücher usw.) Berlin Nr. 11 100 Julius Springer.

Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener [6147]
Präzisionsmechanischen Werkstätten

G. KESEL
G. m. b. H.
in Kempten i. Allg.

Gravier-Apparat
zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

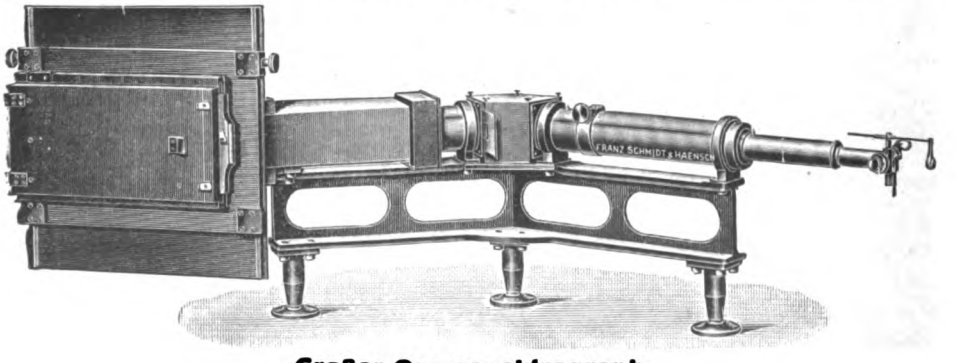
Winkelprismen

Universalinstrument

Bitte neue Preisliste anfordern

J. D. MÖLLER
WEDEL bei HAMBURG
Gegründet 1864

Franz Schmidt & Haensch
BERLIN S 42
Prinzessinnenstr. 16 Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **Juni 1921.** Sechstes Heft.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1920.

(Schluß von Seite 143.)

Abteilung III.

Unterabteilung IIIa.

1. Zustandsgleichung der Gase[1]).

Die Messungen der pv-Werte mit dem Piezometer werden an Wasserstoff bei 0°, 50° und 100° bis 100 Atm. durchgeführt. Für die Isothermen ergaben sich die Gleichungen:

$$0°: \; pv = 0{,}99918 + 0{,}0008209\,p + 0{,}0000003745\,p^2$$
$$50°: \; pv = 1{,}18212 + 0{,}0008900\,p$$
$$100°: \; pv = 1{,}36506 + 0{,}0009140\,p.$$

Die Ergebnisse sind veröffentlicht (Anhang 2, Nr. 49).

Ferner wurde Helium, für welches die früheren Versuche nur bis 50 Atm. reichten, ebenfalls bis 100 Atm. gemessen. Hier verläuft innerhalb der Genauigkeitsgrenze auch die 0°-Isotherme geradlinig; für sie gilt die Gleichung:

$$pv = 0{,}99930 + 0{,}0006954\,p.$$

2. Spannungs- und Ausdehnungskoeffizienten von Helium, Wasserstoff und Stickstoff[2]).

Als Spannungs- und Ausdehnungskoeffizient eines idealen Gases wurde bisher der Wert 0,0036618 angenommen. Diesen Wert leitete D. Berthelot aus den gasthermometerischen Messungen von Chappuis an Wasserstoff und Stickstoff ab.

Mit dem Ergebnis dieser Ableitung standen Beobachtungen des Spannungskoeffizienten von Helium in Widerspruch, die in der Reichsanstalt bei Messungen mit dem Gasthermometer in größerer Anzahl ausgeführt worden sind. Diese ergaben, daß der Spannungskoeffizient des Heliums bei Anfangsdrucken unterhalb 1,1 m merklich unabhängig vom Anfangsdruck gleich 0,0036600 ist.

Um diesen Widerspruch aufzuklären, wurden unter Benutzung möglichst vollkommener Hilfsmittel die Spannungs- und Ausdehnungskoeffizienten, sowie die Neigungen der 0°-Isotherme bei Helium, Stickstoff und Wasserstoff bestimmt. Der Inhalt des Thermometergefäßes aus Jenaer Glas 59^{III} betrug 300 cm³, der des zur Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten dienenden Zusatzgefäßes 80 cm³ und der des schädlichen Raumes 0,5 cm³. Die Temperatur der Quecksilbersäule wurde aus dem Widerstande eines schraubenförmig um das Manometerrohr gewickelten Nickeldrahtes abgeleitet und ihre Länge mit einem als Vertikalkomparator benutzten Kathetometer bestimmt, wozu ein für Längenmessungen bis zu 1800 mm geeignetes von der Société Genevoise angefertigtes Instrument zur Verfügung stand. Der Siedeapparat wurde elektrisch geheizt. Im ganzen wurden 20 Messungsreihen mit verschiedenen, zwischen 0,2 und 1,1 m liegenden Anfangsdrucken durchgeführt.

Beim Helium wurde das Ergebnis der früheren Beobachtungen bestätigt; der Spannungskoeffizient war innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit gleich 0,0036600, der Ausdehnungskoeffizient

[1]) Holborn.

[2]) Henning und Heuse.

bei 1100 mm 0,0036581. Für Wasserstoff und Stickstoff wurden Werte für beide Koeffizienten gefunden, die mit den Beobachtungen von Chappuis in Einklang sind. Berechnet man den Grenzwert γ des Koeffizienten beim Druck 0 nach der Methode der kleinsten Quadrate unter der Annahme, daß sowohl der Ausdehnungskoffizient α, als auch der Spannungskoeffizient β in dem Beobachtungsbereich mit dem Anfangsdruck in linearer Beziehung steht, so erhält man für Helium $\gamma = 0{,}0036600$, für Wasserstoff $\gamma = 0{,}0036607$ und für Stickstoff $\gamma = 0{,}0036606$.

Wird bei der Berechnung des Grenzwertes die Gesamtheit aller Beobachtungen ausgewertet, so erhält man $\gamma = 0{,}0036604$, dem die absolute Temperatur des Eispunktes $T_0 = \frac{1}{\gamma} = 273{,}20$ entspricht; hierbei ergibt sich außer dem Grenzwerte auch die Abhängigkeit der Koeffizienten vom Anfangsdruck.

In der folgenden Tabelle sind die für verschiedene Anfangsdrucke p_0 beobachteten Werte des Ausdehnungskoeffizienten α und des Spannungskoeffizienten β, sowie die beobachteten Werte für die Neigung der 0°-Isotherme $\frac{1}{pv}\left(\frac{dpv}{dp}\right)_0$, schließlich noch die Differenz (Beob. — Rechn.) zwischen diesen und den nach den unten folgenden Formeln berechneten Werten dargestellt.

	p_0 mmHg	α	Beob. — Rechn. $\times 10^7$	β	Beob. — Rechn. $\times 10^7$	$\frac{1}{pv}\left(\frac{dpv}{dp}\right)_0$	Beob. — Rechn.
Helium	504,8	0,0036589	— 5	0,0036595	— 7		
	520,5	36603	+ 9	36599	— 3		
	760,1	36591	+ 2	36598	— 3		
	1102,9	36582	— 1	36601	+ 2		
	1116,5	36581	— 1	36600	+ 1	$+44\cdot10^{-5}$	$+4\cdot10^{-5}$
Wasserstoff	508,2	36602	+ 4	36612	— 1		
	1095,3	36590	— 1	36623	0	$+70\cdot10^{-5}$	$+2\cdot10^{-5}$
Stickstoff	220,3	36630	— 2	36626	+ 3		
	511,4	36679	+ 12	36675	+ 3		
	1105,3	36742	— 2	36752	0	$-74\cdot10^{-5}$	$+9\cdot10^{-5}$

Helium	$\alpha = 0{,}0036604 - 19\cdot10^{-10}\cdot p_0$ $\beta = 0{,}0036604 - 4\cdot10^{-10}\cdot p_0$
Wassersoff	$\alpha = 0{,}0036604 - 12\cdot10^{-10}\cdot p_0$ $\beta = 0{,}0036604 + 17\cdot10^{-10}\cdot p_0$
Stickstoff	$\alpha = 0{,}0036604 + 117\cdot10^{-10}\cdot p_0$ $\beta = 0{,}0036604 + 134\cdot10^{-10}\cdot p_0$

Die Werte für die Anfangsneigungen der Isothermen sind durchweg kleiner als sie aus den in der Reichsanstalt mit dem Piezometer angestellten Beobachtungen bei Drucken bis zu 100 Atm. folgen; bei Helium ist der Unterschied am größten.

3. Widerstandskoeffizient reiner Metalle[1]).

Mit Hilfe des Glühlampenwerks der AEG ist es gelungen, besonders reines Nickelpulver, das die Firma W. C. Heraeus hergestellt hatte, zu Draht zu verarbeiten. Er wies einen Widerstandskoeffizienten $(R_{100} - R_0)/100\ R_0$ von 0,0067 auf. Dieser Wert ist wohl mit der größte, der bisher für ein Metall gemessen wurde. Wie verschieden kleine Verunreinigungen je nach ihrer Art auf den Widerstandskoeffizienten wirken, zeigt sich auch bei Nickel. Eine Probe mit 0,3% Co, 0,1% Fe und 0,05 Si wies noch einen Widerstandskoeffizienten von 0,0063 auf, während dieser bei zwei anderen Proben mit 0,33% und 0,46% Si auf 0,0051 und 0,0048 sank.

Auch Kobaltdraht wurde auf ähnliche Weise hergestellt. Doch scheint eine so große Reinheit wie bei Nickel noch nicht erreicht worden zu sein. Der höchste Widerstandskoeffizient betrug 0,0060, immerhin höher, als er bisher bei diesem Metall beobachtet worden ist.

[1]) Holborn.

4. Die Albedo der Magnesia[1]).

Für die Zwecke der optischen Pyrometrie ist es von Wichtigkeit, das diffuse Reflexionsvermögen (Albedo) R eines gut definierten weißen Körpers zu kennen. Als solcher eignet sich frisch niedergeschlagene Magnesia, die beim Verbrennen von Magnesiummetall als weißer Rauch entsteht. Unter der Annahme, daß die so gewonnene Magnesia unter allen Winkeln völlig diffus reflektiert, konnte die Bestimmung der Albedo auf folgende Weise durchgeführt werden:

Ein 35 cm langes Messingrohr vom inneren Durchmesser D wurde auf seiner Innenfläche geweißt. In seiner Achse wurde ein Platindraht vom Durchmesser d zum Glühen gebracht. Durch eine kleine kreisförmige Öffnung in der Mitte des Messingrohres wurden mittels eines Mikropyrometers (eines Holborn-Kurlbaumschen Pyrometers mit Mikroskopoptik und rotem Farbglas) von 20facher Vergrößerung abwechselnd die Helligkeiten H und h des Platindrahtes und der reflektierenden weißen Rohrwand gemessen und nach der Formel $R = \frac{\frac{d}{D}}{\frac{d}{D} + \frac{H}{h} - 1}$ die Albedo für die Wellenlänge $\lambda = 0{,}647\,\mu$ ermittelt. Es kamen zwei Messingrohre vom Durchmesser $D = 12{,}0$ und 27,5 mm und zwei Platindrähte von der Dicke $d = 0{,}53$ und 0,59 mm zur Anwendung. Unabhängig von den Werten für D und d ergab sich $R = 0{,}95$.

Die Voraussetzung diffuser Reflexion der Magnesia zeigte sich indessen für nahezu streifende Inzidenz von Einfallswinkeln unterhalb 7° nicht erfüllt. Aus diesem Grunde kann die für R angegebene Zahl um einen kleinen Betrag von dem wahren Wert für die Albedo abweichen. Zur Ermittlung dieser Korrektion sind weitere Versuche vorbereitet.

5. Sättigungsdrucke von Dämpfen in tiefer Temperatur[2]).

Die im vorigen Bericht erwähnten Beobachtungen von Dampfdrucken in der Anordnung des Stockschen Thermometers sind zu Ende geführt worden. Für die Messungen im Temperaturbereich zwischen dem Siedepunkt des Sauerstoffs (— 183°) und der unteren Grenze für die Brauchbarkeit des früher beschriebenen Flüssigkeitsthermostaten (— 130°) wurde ein Metallthermostat aus einem 4 kg schweren Aluminiumblock konstruiert, der in einem Vakuummantelgefäß angeordnet wurde und dessen Temperatur durch tropfenweise zugeführte flüssige Luft beliebig lange auf etwa 0,02° konstant gehalten werden konnte. Innerhalb des Blockes bestanden allerdings kleine Temperaturunterschiede, die es nötig machten, das Dampfrohr in unmittelbare Nähe des Platinthermometers zu bringen, um eine Meßgenauigkeit von wenigen hundertel Grad sicherzustellen. Der Thermostat war in erster Linie zur Beobachtung der Sättigungsdrucke von Methan (CH_4) und Äthylen (C_2H_4) bestimmt. Er wurde indessen auch für die Messungen am Phosphorwasserstoff (PH_3) benutzt, während für die Beobachtung der Sättigungsdrucke von Chlorwasserstoff (HCl) der ältere Flüssigkeitsthermostat mit Petroläther füllung Verwendung fand.

Die Ergebnisse der Messungen an diesen 4 Stoffen, die ebenso wie die im vorigen Bericht erwähnten Stoffe im Laboratorium des Herrn Professor Stock im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie hergestellt und in die Meßrohre eingefüllt wurden, sind in folgenden Tabellen dargestellt. Die direkt beobachteten Werte sind durch einen Stern gekennzeichnet.

Chlorwasserstoff				Phosphorwasserstoff			
t °C	p mm	t °C	p mm	t °C	p mm	t °C	p mm
— 85,03	760,0	— 100	299,3	— 87,43	760,0	— 111,60*	174,8
— 87,12*	674,1	— 100,47*	289,9	— 89,71*	673,9	— 112,78*	160,6
— 90	568,5	— 105	210,4	— 90	663,5	— 115	136,7
— 90,69*	545,5	— 108,75*	159,3	— 94,90*	508,4	— 115,15*	135,3
— 95	416,7			— 95	505,1	— 120	92,9
				— 95,86*	481,7	— 125	61,3
				— 100	376,6	— 130	39,2
				— 105	274,6	— 132,70*	30,2
				— 110	195,8		

[1]) Henning und Heuse. — [2]) Henning.

Äthylen				Methan			
t °C	p mm	t °C	p mm	t °C	p mm	t °C	p mm
— 103,72	760,0	— 125	177,8	— 161,37	760,0	— 170,49*	336,6
— 105	705,1	— 130	117,2	— 162,45*	696,1	— 173,49*	249,4
— 110	518,8	— 130,06*	116,6	— 164,77*	570,9	— 175	212,1
— 110,33*	508,2	— 135	74,4	— 165	559,3	— 180	118,9
— 115	371,9	— 140	45,6	— 170	353,2	— 181,87*	94,2
— 120	260,5	— 141,46*	39,3				
— 121,02*	241,5						

Die Dampfdrucke p aller acht beobachteten Stoffe lassen sich befriedigend durch die Nernstsche Dampfdruckformel

$$\log p = -\frac{A}{T} + 1{,}75 \log T - BT + C$$

darstellen; für die Konstanten A, B und C gelten folgende Werte, wobei die absolute Temperatur des Eispunktes zu $T = 273{,}1^0$ angenommen worden ist:

Substanz	A	B	C
CS_2	1682,38	0,005 298 0	5,448 95
SO_2	1561,36	6 175 7	6,204 76
NH_3	1393,60	5 703 4	5,896 54
CO_2	1279,11	2 075 7	5,852 42
HCl	905,53	5 007 7	4,657 39
PH_3	845,57	6 193 1	4,614 80
C_2H_4	834,13	8 375 3	5,323 40
CH_4	472,47	6 935 1	4,601 75

6. Druckabfall von Gasen und Flüssigkeiten beim Strömen durch Rohre[1]. Die Prüfung der Blasiusschen Formel für die Strömung von Flüssigkeiten

$$h_1 - h_2 = C_1 \left(\frac{\nu}{w \cdot 2r}\right)^{C_2} \frac{l}{2r} \frac{w^2}{2g},$$

wo $h_1 - h_2$ den Druckabfall in cm Flüssigkeitssäule auf der Rohrstrecke l (cm), $2r$ (cm) den Rohrdurchmesser, ν ($= g\eta/\gamma$) den „kinematischen Reibungskoeffizienten" in $cm^2\ sec^{-1}$, η den Reibungskoeffizienten, γ die Dichte und w (cm sec^{-1}) die Geschwindigkeit der Flüssigkeit, endlich C_1 und C_2 Konstante bedeuten, deren Wert früher (Tätigkeitsbericht für 1918, S. 182) zu 0,3272 und 0,253 neu bestimmt worden ist, wurde mit Wasser an einem 2 m langen und 20 mm weiten Messingrohr fortgesetzt, nachdem die Wasserzuleitung und das Überlaufgefäß derart abgeändert waren, daß Wassermengen bis über 3000 kg/h durch das Versuchsrohr getrieben werden konnten. Die mittlere Wassergeschwindigkeit im Rohr wurde nun bei 16 Einzelversuchen einmal durch Wägung des Wassers gemessen und ferner aus dem Druckabfall auf einer Rohrstrecke von 1000 mm berechnet. Die größte bei diesen Versuchen vorkommende Abweichung zwischen dem gemessenen und berechneten Wert betrug $3^0/_{00}$, die mittlere Abweichung etwa $1^0/_{00}$. Die Übereinstimmung ist also noch besser als bei den früheren Versuchen an einem 10 mm weiten Rohr. Die aus Messungen mit Luft bestimmten Konstanten C_1 und C_2 gelten also auch für Wasser, wie es die Theorie verlangt.

7. Bestimmung des Wärmeleitvermögens von Flüssigkeiten[1]. Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Wassers im Bereich von 0 bis 80° wurde abgeschlossen. Der Wärmeverlust durch Strahlung quer zu den Wänden des Vakuummantelgefäßes erwies sich als bedeutendste Korrektion. Sie wurde durch besondere Versuche bestimmt. Das Reflexionsvermögen der versilberten Glaswände des Gefäßes ergab sich zu 0,95. Die bei 12 Versuchen gewonnenen Werte der Wärmeleitfähigkeit werden in cal $cm^{-1}\ sec^{-1}\ Grad^{-1}$ durch die lineare Gleichung

$$\lambda = 0{,}001\,325\,(1 + 0{,}002\,984\ t)$$

[1]) Jakob.

mit einer mittleren Genauigkeit von 0,4% wiedergegeben. Die absolute Genauigkeit der Bestimmung wird etwa 1% betragen. Die Untersuchung ist veröffentlicht (Anh. 2, Nr. 52 und 53). An der einen Stelle sind auch fast sämtliche älteren Beobachtungen ausführlich besprochen.

8. Bestimmung des Wärmeleitvermögens fester Körper[1].)

Nach der gleichen Methode wie die Wärmeleitfähigkeit von Wasser wurde die eines elektrischen Isoliermittels (Mikartafolium) zwischen 20 und 60° gemessen. Das Material wurde in Form einer Platte von 117 mm Durchmesser und 2 mm Dicke untersucht. Um vollkommene Berührung mit den anliegenden Kupferplatten zu erzielen, wurde beiderseits eine Ölschicht von 0,02 bis 0,03 mm zwischengeschaltet, deren Dicke aus dem vorher gemessenen Volumen der verwendeten Ölmenge bestimmt wurde; der Temperaturabfall in der Ölschicht wurde berücksichtigt.

Die Methode eignet sich allgemein für die Messung der Wärmeleitfähigkeit von Stoffen, die in dünnen Platten von 117 mm Durchmesser hergestellt werden können.

9. Inversionskurve des differentialen Thomson-Joule-Effektes der Gase[1]).

Der Verlauf der Inversionskurve des differentialen Thomson-Joule-Effektes, der sich nach den Untersuchungen von Noell, von Schames und von Jakob quantitativ wohl etwas verschieden, aber dem Charakter nach ähnlich ergeben hatte, ist neuerdings von K. Schreber[2]) angezweifelt worden. Dies gab Veranlassung, alle Inversionspunkte, die aus den Isothermen- und Isobarenmessungen von Mack, Amagat und Witkowski für Äthyläther, Kohlensäure, Äthylen, Sauerstoff, Luft, Stickstoff und Wasserstoff berechnet werden können, in einem Diagramm mit korrespondierenden Koordinaten $\mathfrak{T}t$ und $\mathfrak{p}$ nach dem Vorgang von Schames zusammenzustellen. Die Inversionskurve konnte durch diese Punkte wesentlich genauer als bisher bestimmt werden Sie wird durch die empirische Gleichung

$$t = 23{,}37 - 1{,}174\,\mathfrak{T}\mathfrak{p} - \frac{178{,}6}{\mathfrak{T}^2\mathfrak{t}^2}$$

dargestellt, woraus für Luft die Gleichung

$$p = 899{,}7 - 1{,}167\,T - 1102\cdot\frac{10^4}{T^2}$$

folgt, wenn p in kg/cm² ausgedrückt wird. Schrebers Behauptung, daß der Inversionsdruck mit abnehmender Temperatur beständig zunehme, ist damit widerlegt. Die Veröffentlichung der Untersuchung ist im Druck.

10. Höchsttemperatur stark isolierter Spulen[3]).

Lubowsky[4]) schließt aus Versuchen, die er in der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft an einer besonders stark isolierten Hochspannungs-Statorspule angestellt hat, ebenso wie früher Rogowski und Vieweg (vgl. Tätigkeitsbericht 1919, S. 139), daß die von Vidmar aufgestellte Regel

$$t_h = 2\,t_m - t_0$$

zur Bestimmung der Höchsttemperatur t_h aus der Mitteltemperatur t_m und aus der Oberflächentemperatur t_0 nicht ohne weiteres auf Spulen anwendbar ist, die durch Umwicklung oder sonstwie stark isoliert sind. Hier wäre vielmehr statt der Oberflächentemperatur die Temperatur unter der Umpressung zu bestimmen. Um die Temperaturmessungen im Innern des Spulenmantels zu ersparen, wurde die folgende Näherungsformel für stark isolierte Spulen entwickelt:

$$t_h = \frac{1{,}92}{F+f}\left[F t_m + \tfrac{1}{2} f\left\{(t_0)_{min} + (t_0)_{max} + \Delta t\right\}\right] - (t_0)_{min}.$$

Dabei bedeuten F und f (cm²) die Querschnitte des Spulenkerns und des Spulenmantels, $(t_0)_{mn}$ und $(t_0)_{max}$ das Minimum und Maximum der Oberflächentemperatur, $\Delta t = \frac{d}{L\cdot u}\frac{J^2 R}{\lambda_M}$ das mittlere radiale Temperaturgefälle im Spulenmantel Letzteres ist aus der Länge L (cm), dem Strom I und dem Widerstande R der Spule, der Dicke d (cm) und dem Umfang u (cm) des Spulenmantels (in der Mitte seines Querschnittes gemessen) und seiner Wärmeleitfähigkeit λ_M in Watt·cm^{-1}·Grad^{-1} zu berechnen.

---

[1]) Jakob.
[2]) K. Schreber, *Physikal. Zeitschr.* **21.** *S. 430. 1920.*
[3]) Jakob.
[4]) K. Lubowsky, *ETZ* **41.** *S. 646, 1920.*

Bei Lubowskys Spule bestand der isolierte Mantel aus Mikartafolium, einer Art Mikanit. Rogowski und Vieweg[1]) haben an einer Spule mit Leinwandwicklung Δt selbst beobachtet. Nach der obigen Formel konnte die Höchsttemperatur t_h der Spulen aus der Mitteltemperatur und den Oberflächentemperaturen praktisch genügend genau berechnet werden, wie der Vergleich mit den Versuchswerten der genannten Autoren ergibt. Man kann somit Temperaturmessungen unter dem Mantel entbehren.

Die Veröffentlichung der Untersuchung steht bevor.

Unterabteilung III b.

1. Übersicht über die Prüfungen[2]).

Im Jahre 1920 wurden folgende Gegenstände geprüft:

I. Ausdehnungsthermometer.

784	(506)	feine Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,01°, geprüft in Temperaturen bis 100°,
725	(684)	Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,1°, geprüft in Temperaturen bis 100°,
3	(10)	Insolationsthermometer,
38	(0)	Siedethermometer für Höhenmessungen,
45	(21)	Beckmannsche Thermometer,
84	(13)	Tiefseethermometer, auf Drucke bis 600 Atm. geprüft,
1689	(998)	hochgradige Thermometer, z. T. geprüft in Temperaturen bis 750°,
19	(44)	tiefgradige Thermometer, darunter 7 (34) Pentanthermometer für Temperaturen bis — 190°,
zusammen 3387	(2276)	Thermometer.

Ferner:

15229	(2123)	ärztliche Thermometer, darunter 4465 (1131) gewöhnliche Maximum- und 10764 (992) Minutenthermometer.

II. Elektrische und optische Thermometer.

5	(9)	Widerstandsthermometer, darunter 1 (9) Quarzglaswiderstandsthermometer mit zugehöriger Temperaturmeßeinrichtung,
123	(129)	Thermoelemente, darunter 62 (92) aus Platin-Platinrhodium, 27 (23) Konstantan-Silber, 7 (3) Konstantan-Kupfer, 1 (8) Konstantan-Eisen, 0 (3) Nickel-Stahl, 6 (0) Nickel-Nickelchrom, 1 (0) Kohle-Nickel und 19 aus verschiedenen Legierungen,
5	(3)	Millivoltmeter für thermoelektrische Zwecke,
13	(0)	Wannersche Pyrometer, darunter 1 mit Spektralzerlegung, die übrigen mit Rotfilter,
3	(9)	Strahlungspyrometer nach dem Bolometerprinzip,
1	(0)	Spektralphotometer,
14	(6)	Pyrometerlampen, davon 2 unter Verwendung von Grünfiltern, } für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,
13	(5)	Prismensätze für Lichtschwächung, } für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,
24	(0)	Rotgläser (Jena 4512), } auf spektrale Durchlässigkeit untersucht,
1	(0)	Rauchglasplatte, } auf spektrale Durchlässigkeit untersucht,
zusammen 202	(162)	Apparate.

[1]) W. Rogowski und V. Vieweg, *Arch. f. Elektrotechnik 8. S. 329. 1919.*

[2]) Scheel, Grützmacher, Jakob, Hoffmann, Moeller, A. Schulze.

III. Instrumente für Druckmessung.

1 (0) Autoklave auf Druckdichtigkeit bis 20 Atm.,
3 (2) Quecksilberbarometer,
1 (2) Aneroidbarometer,
22 (19) Manometer für verschiedene Meßbereiche, darunter 3 bis 1000 kg/cm^2,

zusammen 27 (30) Druckmeßinstrumente.

IV. Apparate zur Untersuchung des Erdöls.

69 (26) Petroleumprober,
282 (197) Zähigkeitsmesser, darunter 141 (91) nach Ubbelohde, 4 (11) für höhere Temperaturen, 7 (12) mit Zehntelgefäß, sowie 2 vierfache und 2 zweifache,
3 (2) Siedeapparate für Mineralöle,

zusammen 354 (228) Apparate für Erdöle.

V. Sonstiges.

19 (11) Verbrennungskalorimeter (Bestimmung des Wasserwertes auf elektrischem Wege),
6 (10) Substanzen auf Ausdehnung, spezifische Wärme und spezifisches Gewicht,
12 (6) Posten = 1407 (256) Legierungsringe für Schwartzkopffsche Dampfkessel-Sicherheitsapparate,
2 (0) Teerhartpechgemische auf Rissebildung bei tagelangem Verweilen in Temperaturen bis $-50°$,
6 (15) Vakuummantelgefäße auf Isoliervermögen; ferner wurden
35 (0) hochgradige Thermometer unter Druck elektrisch abgeschmolzen.

zusammen 80 (65) Gegenstände.

Endlich wurde ein Gaswerk bezüglich der Bestimmung der Gasverluste eines Gasometers von 60000 m^3 Fassungsvermögen beraten und wurden auf Antrag die Eigenschaften des Äthylchlorids zusammengestellt.

2. Quecksilberthermometer. a) Allgemeines.

Von den 3387 nichtärztlichen Thermometern waren 302 wegen Nichteinhaltung der Prüfungsvorschriften unzulässig, 27 gingen beschädigt ein, 63 — einschließlich 49 Stück freiwillig gesprungener Instrumente — wurden bei der Prüfung beschädigt; im ganzen mußten demnach 392 Thermometer, d. h. 11,6% aller zur Prüfung eingereichten nichtärztlichen Thermometer zurückgewiesen werden.

Die Gesamtzahl dieser zur Prüfung eingereichten Instrumente hat trotz der auch jetzt noch fehlenden Eingänge an meteorologischen Thermometern gegen das Vorjahr erheblich zugenommen und zwar im Durchschnitt um 50%; die Eingänge an Fieberthermometern sind sogar auf das siebenfache gestiegen, ein Zeichen, daß die Thermometerindustrie jetzt wieder vom In- und Auslande reichlich mit Aufträgen versehen wird.

Auf Veranlassung der Industrie wurde in der Reichsanstalt ein Gesetzentwurf für die Zwangsprüfung aller im In'and hergestellten Fieberthermometer ausgearbeitet, der vom Reichsrat und Reichstage angenommen worden ist. Damit erweitert sich das Arbeitsgebiet der Unterabteilung ganz erheblich. Die nötigen Vorbereitungen haben begonnen.

b) Arbeitsnormale[1]).

Eine allgemeine Revision der Arbeitsnormale erschien im Berichtsjahre noch nicht nötig, es wurde daher mit Rücksicht auf die Häufung der laufenden Aufträge davon Abstand genommen und nur die Vergleichung einer größeren Reihe (18 Stück) von Gebrauchsnormalen für höhere Temperaturen mit dem Platinthermometer durchgeführt

3. Thermometerprüfungsstellen unter Kontrolle der Reichsanstalt[2]).

Im Laufe des Jahres 1920 wurden im Staatsprüfamt für Glasgeräte in Ilmenau 98759 (100976) ärztliche und 2155 (2644) Thermometer für den Gebrauch im Wetterdienst, im Hause im Laboratorium und in der Fabrik geprüft. In der Sächsischen Prüfungsstelle für

[1]) Scheel, Grützmacher, Moeller.
[2]) Scheel, Grützmacher.

ärztliche Thermometer in Gehlberg wurden im gleichen Zeitraum 75111 (45331) ärztliche Thermometer geprüft. Der Ausfall an unzulässigen ärztlichen Thermometern betrug in der Reichsanstalt 21,2 (27) %, in Ilmenau 13,4 (11,6) %, in Gehlberg 8,9 (5,5) %.

4. Ausdehnungsmessungen[1]). Die Ausdehnungsmessungen wurden nach der Fizeauschen Methode mit der früher[2]) beschriebenen Apparatur in tiefen Temperaturen wieder aufgenommen. Sie erstreckten sich auf Proben von Molybdän, Nickel, Tantal und Wolfram, welche vom Glühlampenwerk der Siemens & Halske A.-G. in Charlottenburg, und auf Chrom und Mangan, welche von der Firma Th. Goldschmidt A.-G. in Essen in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt waren. Die gefundenen Werte der linearen Ausdehnung in mm/m zwischen $+20^\circ$ und t° sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

t	Molybdän	Tantal	Chrom	Nickel	Mangan	Wolfram
-80°	$-0{,}49$	$-0{,}60$	$-0{,}74_5$	$-1{,}19$	$-2{,}04$	$-0{,}42_5$
-190°	$-0{,}89_5$	—	—	$-2{,}13_5$	$-3{'}47$	$-0{,}82$

Im Temperaturintervall von 0 bis -190° können die Ausdehnungen durch folgende Formeln dargestellt werden, wobei $\tau = \frac{t}{100}$ gesetzt ist:

Mangan: $\Delta l = +2{,}303\ \tau + 0{,}3627\ \tau^2$.
Molybdän: $\Delta l = +0{,}526\ \tau + 0{,}0372\ \tau^2$.
Nickel: $\Delta l = +1{,}308\ \tau + 0{,}1660\ \tau^2$.
Wolfram: $\Delta l = +0{,}445\ \tau + 0{,}0328\ \tau^2$.

Für Tantal war es nicht möglich, die Ausdehnung zwischen 20° und -190° zu ermitteln, weil der einzige zur Verfügung stehende Körper beim Abkühlen auf -190° der ganzen Länge nach einen Riß erhielt und dadurch für weitere Messungen unbrauchbar wurde. Chrom zeigte an zwei aus derselben Metallprobe geschnittenen Versuchskörpern übereinstimmend ein dem Quarzglas ähnliches Verhalten. Kühlte man nämlich die Körper von Zimmertemperatur an ab, so verkürzten sie sich zunächst bis etwa -183°, bei noch weiterer Abkühlung dehnten sie sich wieder aus. Da jedoch die polierte Oberfläche in tiefen Temperaturen eine Deformation aufwies, welche bei der Erwärmung wieder verschwand, so ist es zunächst noch nicht möglich, das Verhalten ziffernmäßig genau auszudrücken; angenähert beträgt die Verkürzung von $+20^\circ$ bis -183° $1{,}2_5$ mm/m, von $+20^\circ$ bis -190° etwa 1,0 mm/m. Außer in tiefen Temperaturen wurden die neu hinzugenommenen Metalle Mangan und Wolfram mit den im Tätigkeitsbericht für 1917 beschriebenen Hilfsmitteln nach der Fizeauschen Methode auch in höheren Temperaturen untersucht. Die Werte für die lineare Ausdehnung sind in der folgenden Tabelle zwischen 20° und t° in mm/m angegeben.

t	Mangan	Wolfram
100°	1,84	0,36
200°	4,39	0,84
300°	7,12	1,32
490°	—	1,80

Die Beobachtungen werden durch folgende Formeln dargestellt, in denen wieder $\tau = \frac{t}{100}$ gesetzt ist:

Mangan 0 bis 300° $\Delta l = 2{,}161\ \tau + 0{,}121\ \tau^2$
Wolfram 0 bis 400° $\Delta l = 0{,}446\ \tau + 0{,}0073\ \tau^2$.

Endlich wurde eine Probe reinen Zinks untersucht. Die Messungen sind noch nicht abgeschlossen, weil es bisher nicht möglich war, das Zink so zu schleifen, daß Interferenzstreifen entstehen, die einigermaßen deutlich sind und es auch in höheren und tieferen Temperaturen bleiben. Es wurde versucht, die Schwierigkeit dadurch zu beseitigen, daß man auf die Oberfläche

[1]) Disch.
[2]) *Verh. d. Deutsch. Physikal. Ges.* **9**. *S. 3. 1907.*

des Zinkzylinders dünne polierte Nickelplättchen aufbrachte, indessen wird durch dies Verfahren die Genauigkeit erheblich eingeschränkt. Als vorläufiges Resultat der Beobachtungen können folgende angenäherte Werte für den mittleren Ausdehnungskoeffizienten angegeben werden:

zwischen	-80^0	und	$+20^0$	$23 \cdot 10^{-6}$,
»	$+20^0$	»	$+100^0$	$30 \cdot 10^{-6}$,
»	$+100^0$	»	$+200^0$	$34{,}5 \cdot 10^{-6}$.

5. Organische Thermometerflüssigkeiten[1]).

Es wurden Versuche angestellt, wie weit sich in höheren Temperaturen statt des Quecksilbers organische Flüssigkeiten zur Füllung von Fabrikthermometern verwenden lassen. Dabei ergab sich daß Cumol, Methylbenzoat und Amylbenzoat, mit Asphalt gefärbt, für den gewünschten Zweck bis 150°, 200° und 240° brauchbar sind. Die Versuche sind abgeschlossen und haben zur Aufstellung von Mutterteilungen für solche Instrumente geführt. Eine Veröffentlichung ist im Druck.

6. Aluminium-Zinklegierungen[2]).

An einer Reihe von Aluminium-Zinklegierungen, die die Reichsanstalt der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron verdankt, sind Messungen des Ausdehnungskoeffizienten nach der Rohrmethode vorgenommen. Außer reinem Zink und reinem Aluminium sind 7 Legierungen (12,5%, 25%, 37,5%, 50%, 62,5%, 75%, 87,5% Al) in dem Temperaturgebiet von 20 bis 300° untersucht worden. Nach dem Zustandsdiagramm von O. Bauer und O. Vogel (*Mitt. a. d. Kgl. Materialprüfungsamt 1915, Heft 3 u. 4, S. 146—198*) existiert in dem Gebiet von 0,75 bis 75% Al eine chemische Verbindung Al_2Zn_3, die bei 256° zerfällt. Diese Verbindung machte sich bei dem Ausdehnungskoeffizienten dadurch bemerkbar, daß sich in der Nähe des Umwandlungspunktes die Ausdehnung der Stäbe sprunghaft änderte. Die größte Änderung des Ausdehnungskoeffizienten betrug 27%. Infolge von Verzögerung der Umwandlungen wurde bei steigender und fallender Temperatur eine Hysteresisschleife beobachtet, deren Fläche bei der Legierung mit 25% Al am größten war.

7. Einschmelzdrähte aus Chromnickel[3]).

In der vorjährigen Kuratoriumssitzung hat Herr Schott darauf hingewiesen, daß Chrom nach den Messungen der Reichsanstalt nahezu denselben Ausdehnungskoeffizienten wie Glas besitzt und deshalb vielleicht zur Durchleitung von elektrischen Strömen durch Glas dienen könne. Auf diese Anregung hin unternommene Versuche haben indessen ergeben, daß handelsreines Chrom für den gedachten Zweck nicht in Frage kommt, weil es sich nicht zu Drähten ausziehen läßt. Dagegen ist es der Firma W. C. Heraeus in Hanau gelungen, Chrom-Nickellegierungen mit 40 und 30% Nickel zu Drähten von 0,3 bis 0,4 mm Durchmesser zu verarbeiten, welche sich sehr gut in Bleiglas einschmelzen lassen. Die Drähte konnten längere Zeit mit 0,5 bis 1 A Stromstärke belastet werden, ohne daß die Einschmelzstellen den geringsten Schaden nahmen.

8. Platinschmelzpunkt[4]).

Nachdem das schadhaft gewordene Heizrohr des Iridium-Widerstandsofens durch ein neues ersetzt war, konnten die Untersuchungen über die Helligkeit des Schwarzen Strahlers beim Platinschmelzpunkte wieder aufgenommen werden. In mehreren durchgeführten Beobachtungsreihen wurde die Helligkeit mit dem Spektralphotometer von König-Martens in derselben Weise wie früher beim Palladiumschmelzpunkte nun beim Platinschmelzpunkt an drei Stellen des Spektrums gegen die beim Goldschmelzpunkt bestimmt. Als Vergleichsstrahler beim Goldschmelzpunkt diente ein gut untersuchter Lummer-Kurlbaumscher Schwarzer Strahler, dessen Konstanz durch schonende Benutzung bei verhältnismäßig nur niedrigen Temperaturen möglichst sichergestellt wurde. Die unter sich gut übereinstimmenden Meßreihen ergaben für das Verhältnis V der Helligkeit des Schwarzen Strahlers im Iridiumofen beim Platinschmelzpunkt zu der im Lummer-Kurlbaumschen Strahler beim Goldschmelzpunkt folgende Werte:

im Rot	$\lambda = 656{,}3\ \mu\mu$	$V = 279$,
» Gelb	$\lambda = 589{,}3\ \mu\mu$	$V = 528$,
» Grün . . .	$\lambda = 546{,}1\ \mu\mu$	$V = 890$.

Leider stellten sich beim Iridiumofen unerwartete Schwierigkeiten bei den tieferen Temperaturen

---

[1]) Moeller.
[2]) A. Schulze.
[3]) Holborn, Scheel.
[4]) Hoffmann.

ein: so konnte bei der thermoelektrischen Festlegung des Goldschmelzpunktes bis jetzt keine befriedigende Übereinstimmung erzielt werden und die dem Mittelwert entsprechenden optischen Einstellungen fielen durchweg etwas (entsprechend etwa 2°) zu niedrig aus. Ehe diese Unstimmigkeiten nicht befriedigend erklärt sind, kann aus den oben angegebene Werten der Platinschmelzpunkt nicht mit Sicherheit berechnet werden.

9. Lichtfilter[1]). Die Beobachtungen an den Lichtfiltern für optisch-pyrometrische Zwecke wurden fortgesetzt. Insbesondere war das Bestreben darauf gerichtet, ein Filter zu schaffen, dessen Durchlässigkeitsbereich möglichst nahe dem Gebiete der maximalen Empfindlichkeit des normalen Auges liegt. Das beste bisher erzielte Filter dieser Art besteht aus einer Kombination von Filtergrün II (Höchst), Naphtholgrün und Fluoreszein. Die quantitative Bestimmung seiner spektralen Durchlässigkeit bestätigte die außerordentliche Ähnlichkeit mit dem Grünfilter von Wratten & Wainwright, die auch aus folgender Zusammenstellung hervorgeht:

Filter:	Durchlässigkeit: Grenzen	Durchlässigkeit: Maximum	Mittlere wirksame Wellenlänge zwischen 1000 und 1400° C
PTR.	etwa 510 bis 570 $\mu\mu$	bei 536 $\mu\mu$ etwa 9%	538 $\mu\mu$
Wr. & W.	„ 510 bis 570 $\mu\mu$	„ 533 $\mu\mu$ „ 12%	536 $\mu\mu$
	und 690 $\mu\mu$ bis zum äußersten Rot	etwa 750 $\mu\mu$ „ 1%	

Das Filter der PTR hat also im Vergleich zu dem von Wratten & Wainwright einen etwas nach dem Gelb zu verschobenen Durchlässigkeitsbereich von etwa derselben Begrenzung; vollständig fehlt ihm dagegen die bei jenem vorhandene Durchlässigkeit im Rot. Die Gesamtdurchlässigkeit beim Maximum, die bei dem noch aus 4 Glasplatten und 3 Gelatineschichten zusammengesetzten Versuchsfilter etwas geringer ist, wird dadurch verbessert werden können, daß bei der endgültigen Form nur 2 Glasplatten und 1 Gelatineschicht verwendet werden.

Chemisches Laboratorium.

1. Glas[2]). Das steigende Interesse der Technik an der Herstellung verbesserter Glastypen war deutlich erkennbar. Im Berichtsjahr wurden auf Löslichkeit und Verwitterbarkeit nach dem Eosinverfahren geprüft:

4 Arten von Hohlglas,
41 „ „ optischem Glas.

Einzelne Glasarten vom Typus der Hartgläser, welche bei mäßig großer natürlicher Alkalität in die zweite Verwitterungsklasse gehören, erwiesen sich, zu Kolben verblasen, als ausgezeichnete Hohlgläser, welche man in die erste Löslichkeitsklasse einreihen muß.

Bei einer vom Verein Deutscher Chemiker in Aussicht genommenen „Normalisierung“ der Glasgeräte geht das Bestreben dahin, die der fünften hydrolytischen Klasse zugehörigen „mangelhaften Gläser“ aus den käuflichen Laboratoriumsgeräten nach Möglichkeit zu beseitigen. Die Reichsanstalt glaubt diese Bestrebungen unterstützen zu müssen.

2. Reines Nickel und Kobalt[1]). Die Aufgabe, reines Nickel und Kobalt herzustellen, ist insofern als gelöst zu betrachten, als es der Technik bei großer Sorgfalt gelingt, diese Metalle aus kristallisierten ammoniakalischen Salzen auf dem Wege der Reduktion in höheren Reinigungsstufen abzuscheiden (vgl. *Tätigkeitsbericht für 1914, S. 185; 1916, S. 101; 1919 S. 159*). Das Schmelzen des pulverförmigen Metallmaterials führt jedoch leicht zu sekundärer Verunreinigung mit Schlackenbestandteilen aus dem Tiegel, wodurch die Dehnbarkeit der Metalle sowie das Leitvermögen beeinträchtigt wird.

Als einfachster Weg zur Gewinnung kompakten Nickels ist nunmehr von der Metallkommission die Verschweißung des reinen Metallpulvers durch rationelle Schmiedearbeit erkannt worden. Auf diese Weise ist es gelungen, Nickeldraht mit kaum 0,05% Fremdstoffen herzustellen, welcher strengere Forderungen an die elektrische Leitfähigkeit erfüllt.

---

[1]) Hoffmann.
[2]) Mylius, Groschuff.
[3]) Mylius, Hüttner.

In gleicher Weise konnte auch reiner Kobaltdraht hergestellt werden.

Das Verfahren ist technisch näher zu prüfen.

3. Edelmetalle[1]).

Nachdem die Berliner Münze unter Mitwirkung der Reichsanstalt gangbare Wege zur Bestimmung der Platinmetalle in den Gold- und Silberlegierungen gefunden hat, konnte auf weitere Versuche darüber verzichtet werden.

4. Aluminium[2]).

Über die Reinigung und Prüfung des Aluminiums liegt eine gedruckte Mitteilung vor, deren Hauptergebnisse schon im vorigen Bericht (s. Anhang 2, Nr. 65) erwähnt worden sind.

Die vergleichende Prüfung der Haltbarkeit technischer Aluminiumobjekte macht die Fortsetzung der Versuche nötig.

5. Reinere Reagentien[3]).

Nach dem Mangel der letzten Jahre war in der Beschaffbarkeit reiner Reagentien eine fortschreitende Besserung festzustellen. Für die vielfach nötigen analytischen Arbeiten kleineren Umfanges bedeutet dies eine wesentliche Erleichterung.

Präzisionsmechanisches Laboratorium[4]).

1. Prüfungsarbeiten.

Im Berichtsjahr wurden geprüft:

7 (3) Maßstäbe,
9 (1) Mikrometer,
417 (519) Endmaße,
36 (27) Leitspindeln,
41 (14) Normalgewinde,
24 (18) Sphärometerringe,
34 (76) Stimmgabeln verschiedener Tonhöhe.

Daneben waren noch zahlreiche Einzelprüfungen zu erledigen. Im ganzen waren 79 einzelne Anträge zu bearbeiten gegen 43 im Vorjahre. Um eine bessere Verteilung und raschere Erledigung der Prüfungsarbeiten zu gewährleisten, wurde, entsprechend den sowohl technischen als auch physikalischen Aufgaben der Präzisionsmechanik, eine Trennung des Gesamtarbeitsgebietes in zwei Gruppen vorgenommen: für technische Mechanik einschließlich Normenprüfungen und für physikalische Mechanik.

Die Hauptzeit nahmen wieder die Endmaßprüfungen in Anspruch, die sich ausnahmslos außer auf die Längen der Endmaße auf Parallelismus und Planheit der Endflächen zu erstrecken hatten. Seit Kriegsende hat die Zahl der deutschen Firmen, welche Feinmeßblöcke nach Johansson-Art fertigen, wesentlich zugenommen. Der Reichsanstalt lag eine Anzahl solcher neuen Erzeugnisse vor, die fast durchweg günstige Prüfungsergebnisse zeigten. Auch unter den Mikrometern, Leitspindeln und Normalgewinden gelangten Neuerzeugnisse mit zumeist gutem Erfolg zur Prüfung. Die Leitspindeln und Normalgewinde zeigten häufiger als früher Zollsteigung.

Die Heizungsschwierigkeiten machten sich im Berichtsjahr in verstärktem Maße bemerkbar. An kalten Tagen lag die Zimmertemperatur in den Morgenstunden tiefer als der Skalenbeginn $+12°$) der im Laboratorium verwendeten Maßstabthermometer.

Angesichts der starken Inanspruchnahme durch laufende Prüfungen mußte die Weiterführung der im Arbeitsplan vorgesehenen Aufgaben leider wieder zurückgestellt werden, um so mehr, als neben den Prüfungen auch zeitraubende Kontrollen der eigenen Normalien und der Meßeinrichtungen durchzuführen waren.

2. Absolute Messung von Normal-Endmaßen.

Gehärtete stählerne Normalendmaße stellen auch bei sorgfältigster Temperung keine unveränderlichen Maßgrößen dar. Der Normalsatz der Reichsanstalt zeigt, obwohl Jahrzehnte seit seiner Herstellung verflossen sind, bei Neumessungen noch immer Änderungen im Sinne zunehmender Verkürzung, die keinesfalls auf Abnutzung zurückzuführen sind. Die Stahlindustrie beschäftigt sich deshalb eingehend mit Versuchen zur Herstellung sogenannter volumbeständiger Stahlsorten, bei denen solche zeitliche Änderungen vermindert bzw. ganz ausgeschlossen sein sollen.

---

[1]) Mylius.
[2]) F. Mylius, W. Mylius.
[3]) Groschuff, Hüttner.
[4]) Göpel, Blaschke, Werner.

Bis zu einer (erfolgreichen) Lösung dieser Frage müssen also die Normalendmaße ständig überwacht werden durch periodische Anschlüsse an das Strichmaß, als dessen unveränderliche Grundlage das Iridium-Platinmeter der Reichsanstalt gilt, das außer an das internationale Urnormal in Bréteuil auch an das deutsche Prototyp der Reichsanstalt für Maß und Gewicht angeschlossen ist. Auch im Berichtsjahr wurde eine große Zahl Anschlußmessungen von Normal-Endmaßen vorgenommen sowie die Bestimmung neu hergestellter Endmaße begonnen. Es wurden vier Dezimeter-Endmaße mit möglichster Sorgfalt in der Reichsanstalt hergestellt. Sie tragen Teilstriche im Schwerpunkt des Maßkörpers und werden nach der bewährten Airyschen Methode an das im vorigen Bericht erwähnte Strichmaß angeschlossen, dessen Teilungsfehlerbestimmung inzwischen beendet worden ist.

3. Wärmeausdehnung verschiedener Stahlsorten für Endmaße. Da es sich in fast allen Fällen der Prüfungen von Endmaßen um solche gesteigerter Genauigkeit handelt, ist die sichere Kenntnis der thermischen Ausdehnung der verwendeten Stahlsorten von Wichtigkeit. Eine systematische, bereits in Angriff genommene Untersuchung, zu der eine große Anzahl von Firmen ihre Unterstützung durch Lieferung von Probestäben zugesagt und größtenteils zur Ausführung gebracht hat, soll über die Wärmeausdehnung des Stahlmaterials im weichen und harten Zustand die erforderliche Klarheit verschaffen.

4. Messung von Längen an Normal-Ohmrohren. Für den eigenen Bedarf der Reichsanstalt wurden die Längen von 5 gläsernen Ohmrohren bestimmt. Hierzu waren zeitraubende Vorarbeiten und besondere Einrichtungen nötig, einmal weil die vorliegenden Längen besondere Teilungsfehlerbestimmungen des benutzten Strichmaßes, eines Invarmeters der Reichsanstalt, erforderten, dann weil die Messungen in möglichster Nähe von 0° vorzunehmen waren. Die Messung erfolgte mit der Fühllibelle; die Rohre waren dabei einzeln in einem wasserdurchflossenen Messingrohr so eingebettet, daß nur die Endflächen zugänglich waren. Die Temperierung erfolgte durch Wasser, welches in konstanter Menge und mit konstanter Geschwindigkeit durch das Umschlußrohr gepumpt wurde und auf seinem Wege eine hohe Schicht zerkleinerten Eises durchlief. Mit dieser einfachen Einrichtung gelingt es leicht, eine sehr konstante Temperatur von ca. $+0{,}3^\circ$ zu erreichen.

5. Vorbereitungen für die Prüfung von Industrie-Normen. Die Arbeiten des Normenausschusses der Deutschen Industrie haben auf den für das Laboratorium wichtigen Gebieten noch nicht zu ständigen Prüfungen geführt, da die hierfür unentbehrliche Festsetzung der zu fordernden Toleranzen noch nicht abgeschlossen ist. Trotzdem ist an den Meßeinrichtungen für Gewinde weitergearbeitet worden. Neben dem im Vorjahr erwähnten großen Apparat für die Bestimmung von Flankendurchmessern, der wegen Personalmangels noch nicht fertiggestellt werden konnte, wurde noch ein kleinerer Apparat ähnlicher Konstruktion für Schrauben bis 40 mm Durchmesser entworfen und in Arbeit genommen. Von den bereits vorhandenen neuen Prüfungsapparaten für Gewinde und Endmaße wurden auch in diesem Jahre von einzelnen Großbetrieben Kopien für den eigenen Bedarf gebaut.

6. Richtmaße für Brillengläser. Die Vorbereitungen für die Normung von Brillengläsern ruhen noch, da die Verhandlungen mit den amerikanischen Fachkreisen noch nicht abgeschlossen sind.

7. Veröffentlichungen. Der Interferenzkomparator, zwei neue Apparate für Gewindeprüfungen sowie die beiden Schnellvergleicher für zylindrische und plattenförmige Endmaße wurden im Berichtsjahr veröffentlicht (Anhang 2, Nr. 3, 4, 5).

Werkstatt[1]).

1. Allgemeines. Die Schwierigkeiten der Materialbeschaffung waren im laufenden Berichtsjahr wesentlich gemildert, obwohl noch immer erhebliche Preise zu zahlen waren. Die Beschaffung von Halbfabrikaten und Hilfsmaterialien für mechanische Arbeiten sowie deren Verteilung an sämtliche Laboratorien und Werkstätten der Reichsanstalt sind seit 1. April 1920 bei der Werkstatt zentralisiert worden. Die hierbei nötigen Buchungs- und Verrechnungsarbeiten müssen von dem Zeichner der Werkstatt ausgeführt werden, so daß dessen ursprüngliche Aufgaben stark beeinträchtigt sind. Durch Verzögerung der Wiederbesetzung einer durch Pensionierung freigewordenen Stelle sowie durch längere Erkrankungen von Beamten war die Leistungsfähigkeit der Werkstatt im Berichtsjahr beeinträchtigt.

[1]) Göpel.

Die Stempelungen nahmen auch in diesem Jahre erhebliche Arbeitszeit in Anspruch, vor allem auch bei den Materialien für magnetische Prüfungen. *2. Stempelungen.*

Außer verschiedenen Reparaturen und zahlreichen kleineren Arbeiten wurden fertiggestellt: ein rotierender Unterbrecher und mehrere genaue Normallineale. In Arbeit befinden sich noch: ein großer Normalkondensator nach Entwurf der Reichsanstalt und zwei Apparate zur Messung von Flankendurchmessern von Gewinden. Ein Beamter war ausschließlich mit der Zurichtung der Materialien für die magnetischen Prüfungen beschäftigt. *3. Herstellung von Apparaten.*

Der Präsident
der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
gez. E. Warburg.

Anhang.

Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Allgemeines.

1. Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1919. *Diese Zeitschr. **40.** S. 87—101, 111—126, 136—151, 156—169. 1920.*
2. Bekanntmachung über Prüfungen und Beglaubigungen durch die Elektrischen Prüfämter Nr. 129—131. *Zentralbl. f. d. Deutsche Reich **48.** 1349. 1436. 1920. Elektrotechn. Zeitschr. S. 111. 657. 877. 1920.*

Abteilung I.

Amtliche Veröffentlichungen.

3. Göpel, Interferenzkomparator für Endmaße. *Werkstattstechnik. Sonderheft II. S. 1—7. 1919. Diese Zeitschr. **40.** S. 3. 1920.*
4. Göpel, Zwei Apparate zur Messung von Gewinden und Lehren. *Werkstattstechnik **14.** S. 559—563. 1920.*
5. Göpel, Zwei Schnellvergleicher für zylindrische und plattenförmige Endmaße. *Werkstattstechnik **14.** S. 625—629. 1920.*
6. Gehrcke und Lau, Über die Struktur der Balmerserie. *Physikal. Zeitschr. **21.** S. 634—635. 1920.*
7. Kolhörster, Zählung und Reichweite von Rückstoßatomen des Thor *O* und Thor *C'*. *Zeitschr. f. Physik **2.** S. 257—263. 1920.*
8. Warburg, Quantentheoretische Grundlagen der Photochemie. *Zeitschr. f. Elektrochem. **26.** S. 54—59. 1920.*

Private Veröffentlichungen.

9. Gehrcke, Der Aufbau der Atomkerne. *Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wiss. A. 1920. 4. Abh.*
10. Gehrcke, Das Innere der Atome. *Zeitschr. f. phys. u. chem. Unterr. **33.** S. 151—154. 1920.*
11. Gehrcke, Was beweisen die Beobachtungen über die Richtigkeit der Relativitätstheorie? *Zeitschr. f. techn. Physik **1.** S. 123. 1920.*
12. Gehrcke, Die Relativitätstheorie eine wissenschaftliche Massensuggestion. Verlag K. F. Köhler. Leipzig 1920.
13. Gehrcke, Über ein Modell zur Erklärung der Lichtemission V. *Physikal. Zeitschr. **21.** S. 172—175. 1920.*
14. Gehrcke, Der Zusammenhang der optischen und Röntgenspektren. *Physikal. Zeitschr. **21.** S. 378—381. 1920.*
15. Gehrcke, Kanalstrahlen. Zur Feier des 70. Geburtstages von E. Goldstein. *Naturwissenschaften **8.** S. 721—723. 1920.*
16. Geiger, Über unsere heutigen Vorstellungen vom Bau der Atome. *Elektrotechn. Umschau **8.** S. 213—217. 1920.*
17. H. Geiger, Atombau und Radioaktivität. *Zeitschr. f. Elektrochem. **26.** S. 274. 1920.*
18. H. Geiger und W. Makower, Praktische Messungen auf dem Gebiet der Radioaktivität. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1920.

19. Lau, Beiträge zur Psychologie der Jugend in der Pubertätszeit; Experimentelle Untersuchungen in Fortbildungsschulen. Langensalza 1920.
20. Warburg, Lehrbuch der Experimentalphysik. 17. u. 18. Aufl.
21. Warburg, Lehrbuch der praktischen Physik von F. Kohlrausch. 13. Aufl. (Mitarbeit daran.)

Abteilung II.

Amtliche Veröffentlichungen.

22. Alberti, Anormale Resonanzkurven, die durch Summation zweier phasenverschobenen Ströme entstehen. *Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.* **16.** *S. 252. 1920.*
23. Behnken, Ein Beitrag zur Kenntnis des kontinuierlichen Röntgenstrahlenspektrums. *Zeitschr. f. Physik.* **1.** *S. 48—59. 1920.*
24. Engelhardt, Über den Einfluß der remanenten Magnetisierung auf die Angaben von Stromwandlern und über deren Beseitigung. *Elektrotechn. Zeitschr.* **41.** *S. 647. 1920.*
25. Engelhardt, Ein Verfahren zur Bestimmung des Nutzeffektes von Bügeleisen. *Elektrotechn. Umschau* **8.** *S. 298. 1920.*
26. Giebe und Alberti, Störende Kapazitätswirkungen bei Hochfrequenzmeßanordnungen. *Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.* **16.** *S. 242. 1920.*
27. Grüneisen und Giebe, Eine neue Bestimmung der absoluten elektrischen Widerstandseinheit. *Ann. d. Physik* **63.** *S. 179—200. 1920.*
28. Grüneisen und Merkel, Ein Röhrensender als Normaltonskala. *Zeitschr. f. Physik* **1.** *S. 277—296. 1920.*
29. Gumlich, Die magnetischen Eigenschaften von ungleichmäßigem Material. *Archiv f. Elektrotechn.* **9.** *S. 153—166. 1920; Stahl u. Eisen* **40.** *S. 1097—1105; 1920. S. 33.*
30. Meißner, Thermische und elektrische Leitfähigkeit von Lithium zwischen 20° und 373° abs. *Zeitschr. f. Physik.* **2.** *S. 373—379. 1920.*
31. Meißner, Über Hochfrequenztelephone. *Zeitschr. f. Physik.* **3.** *S. 111—116. 1920.*
32. Günther Schulze, Vom Verhalten elektrolytischer Ionen in festen Körpern. II. Dissoziationsverhältnisse im Permutit. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **26.** *S. 472. 1920.*
33. Rogowski, Über Gleichstrommaschinen hoher Spannung zur Speisung von Funkenstationen. Ihre Belastung und Spannungsgefahr. *Arch. f. Elektrotechn.* **9.** *S. 191—226. 1920.*
34. Semm, Verlustmessungen bei Hochspannung. *Arch. f. Elektrotechn.* **9.** *S. 30—34. 1920.*
35. Wagner, Über die Arbeitsweise und Beanspruchung von Gleichstrom-Hochspannungsmaschinen beim Betrieb von Funkensendern. *Elektrotechn. Zeitschr.* **41.** *S. 581—585, 605—609. 1920.*

Private Veröffentlichungen.

36. Engelhardt, Max Planck. *Chemiker-Ztg, 1919. Nr. 150.*
37. Engelhardt, Die Vorschläge zur Hochschulreform. *Elektrotechn. Umschau* **8.** *S. 77. 1920.*
38. Engelhardt, Einführung in die Relativitätstheorie. Charlottenburg 1920.
39. Engelhardt, Über das Eindringen des Frostes in den Erdboden. *Meteorolog. Zeitschr.* **37.** *S. 305. 1920.*
40. Grüneisen, Mitarbeit an der 13. Aufl. von Kohlrauschs Lehrbuch der praktischen Physik.
41. Schering, Zur Berührungsgefahr bei Hochspannungsmasten. *Elektrotechn. Umschau* **1.** *S. 2 bis 3. 1920.*
42. Schering, Hochspannung und Fernsprecher. *Elektrotechn. Umschau* **8.** *S. 1—6. 1920.*
43. Schmidt, Kilowatt oder Pferdestärke? *Elektrotechn. Umschau* **8.** *S. 183—185. 1920.*
44. v. Steinwehr, Beitrag zur Berechnung theoretischer Lösungswärmen. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **94.** *S. 6—24. 1920.*
45. v. Steinwehr, Über die Temperaturfunktion der elektromotorischen Kraft galvanischer Ketten. *Zeitschr. f. Physik* **1.** *S. 261—270. 1920.*
46. v. Steinwehr, Über die Abhängigkeit der Verdampfungswärme des Wassers von der Temperatur. *Zeitschr. f. Physik* **1.** *S. 333—336. 1920.*

47. Zickner, Vorgänge bei Stromunterbrechung in Schwingungskreisen. *Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.* **14.** *S. 478—493. 1919.*

48. G. Zickner und F. F. Martens, Über die mittelfrequenten Vorgänge in Tonfunkensendern. *Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.* **15.** *S. 266—288. 1920.*

Abteilung III.

Amtliche Veröffentlichungen.

49. Holborn, Über die Isothermen des Wasserstoffs. *Ann. d. Phys.* **63.** *S. 674—680. 1920.*

50. Hoffmann und Schulze, Über die Brauchbarkeit von Thermoelementen aus unedlen Leitern in hohen Temperaturen. *Elektrotechn. Zeitschr.* **41.** *S. 427. 1920.*

51. Jakob, Zur Frage der Messung von Oberflächentemperaturen in der Elektrotechnik. *Archiv f. Elektrotechnik* **8.** *S. 362—364. 1919.*

52. Jakob, Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Wassers im Bereich von 0 bis 80°. *Berl. Akademie-Berichte S. 406—413. 1920.*

53. Jakob, Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Wassers im Bereich von 0 bis 80°. *Ann. d. Phys.* **63.** *S. 537—570. 1920.*

54. Lips, Apparat zum elektrischen Zuschmelzen hochgradiger Quecksilberthermometer unter Druck. *Zeitschr. d. Deutsch. Gesellsch. f. Mech. u. Opt. S. 1—2. 1920.*

Private Veröffentlichungen.

55. Henning, Über das Emissionsvermögen der Metalle und die Methoden zu dessen Bestimmung. *Jahrb. f. Radioakt. u. Elektronik* **17.** *S. 30—62. 1920.*

56. Henning, Über die Abhängigkeit der Verdampfungswärme des Wassers von der Temperatur. *Zeitschr. f. Physik* **2.** *S. 197—199. 1920.*

57. F. Henning, Die Lichtverteilung im Beleuchtungsfeld eines Scheinwerfers mit Parabolspiegel. *Elektrotechn. Zeitschr.* **49.** *S. 973—978, 1006—1008. 1920.*

58. Holborn, Mitarbeit an der 13. Aufl. von F. Kohlrauschs Lehrbuch der praktischen Physik.

59. Jakob, Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Baustoffe. *Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde (West)* **37.** *S. 335—336. 1919.*

60. Jakob, Begriff und Zählung der Temperatur. *Zeitschr. f. d. ges. Kälte-Ind.* **27.** *S. 61—63. 1920.*

61. Jakob, Thomsons Dampf-Nomogramm. *Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* **64.** *S. 1056—1059. 1920.*

62. A. Schulze, Über die Löslichkeit der Radiumemanation in organischen Flüssigkeiten. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **95.** *S. 257. 1920.*

63. A. Schulze, Dampfspannungen der Azeton-Chloroformgemische. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **93.** *S. 368. 1919.*

64. A. Schulze, Dampfspannungen von Benzol-Toluol-Mischungen in Abhängigkeit von der Temperatur. *Ann. d. Physik.* **59.** *S. 73. 1919.*

Chemisches Laboratorium.

Amtliche Veröffentlichung.

65. F. und W. Mylius, Über die Reinigung und Prüfung des Aluminiums. *Zeitschr. f. anorg. und allg. Chemie* **114.** *S. 27—64. 1920.*

Die photographisch registrierende Eötvössche Torsionswage der Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau.

Von

Prof. Dr. **W. Schweydar** in Potsdam.

In den letzten Jahren hat das Interesse namentlich seitens der praktischen Geologie an der Messung der kleinen Unterschiede der Schwerkraft längs der Erdoberfläche zur Erkenntnis des geologischen Baues der obersten Erdschichten und

Feststellung wertvoller Bodenschätze stark zugenommen. Diese auch wirtschaftlich bedeutsame Aufgabe stellt große Anforderungen an die Methoden und die Genauigkeit der notwendigen Apparate, die im Gelände unter ungünstigen äußeren Bedingungen sehr kleine Größen zuverlässig anzeigen sollen. Die Anomalien der Schwerkraft lassen zwar einen eindeutigen Schluß auf die unterirdische Massenanordnung nicht zu, aber ihre Kenntnis kann doch von großem Nutzen sein, wenn die Geologie eines Gebietes im allgemeinen bekannt ist oder gewisse Vermutungen zuläßt und es sich darum handelt, die Form und Ausdehnung der störenden Massen anzugeben. Die bisher allgemein gebräuchliche Methode der Schweremessung verwendet kurze Pendel von rund $^1/_2$ Sekunde Schwingungszeit, mit denen man aus der Änderung der Schwingungszeit von Ort zu Ort die Unterschiede der Schwerkraft erhält. Diese Messungen haben in den letzten Dezennien ein reiches Material geliefert, das zu ganz neuen Gesichtspunkten über den Aufbau der Erdrinde geführt hat. Für die Feststellung eng begrenzter Massenstörungen und unterirdischer Faltungen unter kleineren Gebieten reicht die Genauigkeit dieser Methode nicht aus. Bei sehr sorgfältiger Ausführung vermögen die Pendel eine Änderung der Schwerebeschleunigung von höchstens 0,001 cm/sec anzuzeigen. Denken wir uns eine Masse von der Dichte 2,2 in Form eines langgestreckten, horizontal liegenden Prismas in Massen von der Dichte 2,5 eingebettet. Seine obere Fläche liege in 100 m Tiefe, seine Breite sei 3000 m, seine Dicke 1000 m und seine Länge im Vergleich zur Breite sehr groß. Mitten über dieser Masse würde die Störung der Schwerkraft nur 0,0001 cm, über ihren Rändern nur 0,00004 cm betragen. Das Pendel würde von der Masse nichts anzeigen können. Die von Eötvös angegebene Torsionswage ist dem Pendel weit überlegen. Sie mißt nicht den Wert der Schwerebeschleunigung, sondern die horizontalen Gradienten der Schwere und gewisse Größen, die zur Beurteilung der Gestalt der Niveauflächen der Schwere dienen. Diese Größen stehen im Zusammenhang mit der Form und Begrenzung der Massenverteilung. Unter günstigen Temperaturverhältnissen gibt die Wage die Gradienten auf etwa 1×10^{-9} c. g. s. genau an. Die horizontalen Gradienten der Schwere sind über den Rändern der oben beschriebenen Massenstörung etwa 88×10^{-9} c. g. s. Die Wage würde demnach sehr leicht die Lage der Masse angeben können. Die Wage wird geeignet sein, Faltungen der Gesteinsschichten unter den Aufschüttungen einer Ebene nachzuweisen, die Grenzen von Anhäufungen bestimmter Massen, wie Salz und Erzen und ähnliche Massenanordnungen anzudeuten. Hierauf und auf die Störung der Messungen durch die Gestaltung des Geländes kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden[1]). Das Prinzip der Torsionswage ist folgendes: An einem 0,04 mm starken Platin-Iridiumdraht von etwa 56 cm Länge hängt wagerecht ein 40 cm langes Aluminiumrohr, das an beiden Enden Belastungsgewichte von je 30 g trägt; eines der Belastungsgewichte ist mittels eines etwa 60 cm langen dünnen Drahtes aufgehängt.

Aus seiner Ruhe herausgedreht, wird das System infolge der Torsionskraft des Aufhängedrahtes des Aluminiumrohres in horizontale Schwingungen versetzt. Der Torsionskoeffizient des Drahtes ist etwa 0,4 c. g. s., das Trägheitsmoment des Wagearmes etwa 23000 c. g. s. und die ganze Schwingungsperiode etwa 24 Minuten. Äußerst

---

[1]) R. Eötvös, Geodätische Arbeiten in Ungarn. *Verhandl. d. XV. u. XVI. Allgem. Konferenz d. Intern. Erdmess. in Budapest und London, 1906 und 1909.* — W. Schweydar, Die Bedeutung der Drehwage von Eötvös für die geologische Forschung nebst Mitteilung der Ergebnisse einiger Messungen. *Zeitschr. f. prakt. Geologie 26, S. 157. 1918.*

geringe Kräfte werden genügen, um den beruhigten Wagearm aus seiner Ruhelage zu bringen. Zum Schutz gegen Luftströmungen und stärkere Temperaturschwankungen ist der Wagearm nebst Torsionsdraht und hängendem Gewicht in einem dreifachen Metallgehäuse eingeschlossen. Dieses Gehäuse ist um eine vertikale Achse drehbar, so daß der Wagearm in seiner Ruhelage in jede beliebige Richtung gebracht werden kann. Aufgabe der Messung ist es, die Ruhelage des Armes relativ zu einer mit dem Schutzkasten fest verbundenen Marke in bestimmten Richtungen des drehbaren Schutzkastens festzustellen. Hierzu dienen ein mit dem Wagearm fest verbundener Spiegel und ein am Schutzkasten fest angebrachtes Fernrohr nebst Skala oder eine photographische Registriereinrichtung. Würden die Schwerkräfte in der Umgebung der Wage gleich und parallel sein, so würde keine Drillung des Drahtes und Drehung des Armes eintreten; der Arm würde in allen Richtungen zu der mit dem Schutzkasten fest verbundenen Marke dieselbe Stellung einnehmen. Dasselbe würde eintreten, wenn die Niveaufläche der Schwere Kugelgestalt hätte; dann liegen die Schwerkräfte in der Ebene, die den Draht und den Arm enthält, und können keine Drillung des Drahtes hervorrufen. Wegen der allgemeinen Erdgestalt und den Massenstörungen oberhalb und unterhalb der Erdoberfläche sind die Schwerkräfte auf die Länge des Wagearmes weder parallel noch gleich; die Niveaufläche weicht an jedem Ort mehr oder minder von der Kugelgestalt ab. Die Wirkung der Kräfte auf das Gehänge ist äquivalent einer Einzelkraft, die wir uns im Schwerpunkt angreifend denken können und die durch den Zug des Fadens aufgehoben wird, und einem Kräftepaar, dessen Ebene senkrecht zur Einzelkraft steht und welches das Wagerohr dreht. Die Größe des Drehmomentes wird in den verschiedenen Richtungen des Armes verschieden sein und somit die Stellung des Armes zu der festen Marke variieren. Aus Messungen in verschiedenen Lagen des Armes wird man die torsionslose Lage und die oben angedeuteten Größen berechnen können. Den Ausdruck für die Drehung des Armes im nicht homogenen Schwerefelde ist von Eötvös[1]) abgeleitet worden. Man kann jedoch auch ohne diesen Aufwand von Formeln namentlich die dem Laien so häufig auffallende Erscheinung erklären, daß die horizontal sich bewegende Wage eine Änderung der Schwerkraft in horizontaler Richtung anzeigt. Es sei W (Fig. 1) der Wagearm, der in einer beliebigen Richtung steht, S die darauf senkrechte Richtung, m_1 und m_2 die beiden Belastungsgewichte. Wir nehmen an, daß die Schwerkraft sich nur in der Richtung S ändert, und zwar in derselben wächst. Die Niveaufläche N_1, die durch m_1 geht, soll senkrecht zu dem in O angreifenden Torsionsdraht verlaufen; die untere N_2 ist dieser nicht parallel, die Abstände beider verkleinern sich in der Richtung S, da die Abstände zweier benachbarter Niveauflächen, gemessen in der Richtung der Normalen, sich umgekehrt verhalten wie die Schwerkräfte. Die Schwerkräfte in m_1 und m_2, d. h. die Normalen auf den Niveauflächen sind nicht parallel; die in m_1 liegt parallel g_1, die in m_2 fällt mit g_2 zusammen. Die letztere hat in bezug auf erstere eine horizontale Komponente H, die in die Richtung S fällt und

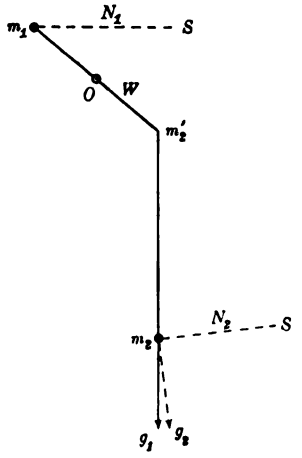


Fig. 1.

[1]) R. Eötvös, Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus. *Wied. Ann.* **59**. *S. 354. 1896.*

den Arm um einen kleinen Winkel φ dreht. Bilden die Kräfte g_1 und g_2 den Winkel i miteinander, so ist $H = m_2 g i$, wo g der mittlere Wert der Schwerebeschleunigung ist. Bezeichnet τ den Torsionskoeffizienten des Drahtes und l den Abstand des Gewichtes m_2 von der Drehachse O, so wird Gleichgewicht eintreten, wenn die Drehmomente gleich sind:

$$\tau\varphi = m_2 g i l .$$

Dreht man den Wagearm mit dem Gehäuse um 180^0, so wird die Drehung um denselben Winkel φ, aber in entgegengesetzter Richtung erfolgen, und man würde aus der Differenz der Stellung des Wagearmes in beiden Lagen φ finden können. Bezeichnet h den Abstand der beiden Niveauflächen N_1 und N_2 und dW die Potentialdifferenz, so ist $gh = dW$ und $g\frac{dh}{dS} = -h\frac{dg}{dS}$; ferner $i = -\frac{dh}{dS}$, d. h.

$$\varphi = \frac{m_2 l h}{\tau}\frac{dg}{dS}.$$

$\frac{dg}{dS}$ ist der horizontale Gradient der Schwere in der Richtung S; diesem ist die Drehung des Armes proportional. h ist der Abstand des Wagearms vom Schwerpunkt des hängenden Gewichts. Ändert sich aber die Schwerkraft nicht nur in S, sondern in jeder Richtung und legen wir ein festes ebenes rechtwinkliges Koordinatensystem x, y mit dem Anfangspunkt O zugrunde, dessen Ebene im Horizont von O liegt, so ist offenbar die Drehung des Armes, wenn die X-Achse mit der Richtung Om'_2 den Winkel α bildet,

$$\varphi = \frac{m_2 l h}{\tau}\left\{\frac{\partial g}{\partial y}\cos\alpha - \frac{\partial g}{\partial x}\sin\alpha\right\}.$$

Die Drillung des Torsionsfadens durch die Krümmungsverhältnisse der Niveaufläche läßt sich auch leicht, wenn auch nicht so anschaulich übersehen, wie bei der Wirkung der Gradienten. Man denke sich das hängende Gewicht m_2 nach oben an den Wagearm (m_2') versetzt. Mit dem Wagearm falle die ξ-Achse eines horizontal liegenden rechtwinkligen Koordinatensystems ξ, η mit dem Anfangspunkt in O zusammen. Die positive Richtung der ξ-Achse geht durch m_2' und wird durch Drehung im Sinne des Uhrzeigers in die positive η-Achse gedreht. Der Wert des Potentials in O sei W; an den Enden des Armes wird er $W' = W + l\frac{\partial W}{\partial \xi}$ bzw. $W'' = W - l\frac{\partial W}{\partial \xi}$ sein. Liegen die Normalen auf den Flächen W' und W'' nicht in der Vertikalebene, die durch den Torsionsfaden und den Wagearm hindurchgeht, so wird eine horizontale Komponente der Schwerkraft H auftreten, die den Arm dreht. Wir können mit großer Annäherung die Masse des Aluminiumrohres gegenüber den Belastungsgewichten m vernachlässigen. Das Drehmoment dieser Kraft wird dann sehr nahe sein $mgl(i_2 - i_1)$, wenn i_1 und i_2 die Winkel sind, welche die Normalen der Niveaufläche an den Enden des Armes mit der η-Achse bilden. Offenbar ist $\cos i_1 = \frac{1}{g}\frac{\partial W'}{\partial \eta}$, $\cos i_2 = \frac{1}{g}\frac{\partial W''}{\partial \eta}$; $i_2 - i_1 = \frac{2l}{g}\frac{\partial}{\partial \eta}\frac{\partial W}{\partial \xi}$. Wird nun ein zweites im Horizont festliegendes Koordinatensystem x, y mit dem Anfangspunkte O zugrunde gelegt und bildet der Arm mit der x-Achse den Winkel α, so ist

$$i_2 - i_1 = \frac{2l}{g}\left\{\left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)\frac{1}{2}\sin 2\alpha + \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}\cos 2\alpha\right\}.$$

$K = 2ml^2$ ist mit großer Annäherung das Trägheitsmoment des Wagearmes. Setzen wir die Drehmomente gleich, so erhalten wir für die Winkeldrehung φ:

$$\tau\varphi = K\left\{\left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)\frac{1}{2}\sin 2\alpha + \frac{\partial^2 W}{\partial x\,\partial y}\cos 2\alpha\right\}.$$

Die gesamte Drehung wird demnach, wenn wir die Winkel von der nicht bekannten torsionslosen Lage des Wagearms zählen, sein:

$$\varphi - \varphi_0 = \frac{K}{\tau}\left\{\left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)\frac{1}{2}\sin 2\alpha + \frac{\partial^2 W}{\partial x\,\partial y}\cos 2\alpha\right\} + \frac{m_2 lh}{\tau}\left\{\frac{\partial g}{\partial y}\cos\alpha - \frac{\partial g}{\partial x}\sin\alpha\right\}.$$

Alle die Ebenen, welche die Normale auf der Niveaufläche in O enthalten, schneiden die Niveaufläche in Kurven. Von diesen Ebenen sind zwei zueinander senkrechte dadurch ausgezeichnet, daß ihre Schnittkurven mit der Niveaufläche den größten (ϱ_2) bzw. den kleinsten Krümmungsradius (ϱ_1) von allen Schnittkurven enthalten. Man nennt diese beiden Schnitte die Hauptschnitte und ihre Krümmungsradien die Hauptkrümmungsradien. Bezeichnet λ den Winkel, den die ϱ_2 enthaltende Schnittkurve mit der x-Achse bildet, so ist

$$g\cos 2\lambda\left(\frac{1}{\varrho_1} - \frac{1}{\varrho_2}\right) = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}$$

und

$$2\,\frac{\partial^2 W}{\partial x\,\partial y} = \operatorname{tg} 2\lambda\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}\right).$$

Wird der Wagearm in die beiden ausgezeichneten Richtungen λ und $\lambda + 90^0$ gebracht, so tritt nur wegen der horizontalen Gradienten allein eine Drehung des Armes ein. Aus der Gleichung für φ sieht man, daß mindestens in 5 Azimuten (α) Messungen ausgeführt werden müssen, um alle Größen bestimmen zu können. Bei den Apparaten ist gewöhnlich $\frac{K}{\tau} = 46\,000$, $\frac{mlh}{\tau} = 70000$ rund.

Eötvös hat die Zahl der notwendigen Messungen dadurch auf 3 reduziert, daß er eine Doppelwage anwandte. Diese enthält zwei parallel nebeneinander so montierte Wagen, daß die beiden hängenden Belastungsgewichte sich an den entgegengesetzten Seiten befinden. Auf die Anordnung der Messungen kann hier nicht näher eingegangen werden.

Eötvös hat zum Schutz gegen Luftströmungen und rasche Temperaturschwankungen jede der beiden Wagen nebst Torsionsfaden und hängendem Belastungsgewicht in ein doppeltes Metallgehäuse eingeschlossen; beide Gehäuse wurden von einem dritten gemeinsam umhüllt. Das Gehäuse besteht in einem rechteckigen Kasten, in dem der Wagearm schwingt, und Röhren, die in ihn münden und den Torsionsfaden bzw. das hängende Gewicht enthalten. Die Dimensionen des Gehänges und Stärke des Fadens sind wie oben angeführt. Zur Bestimmung der Ruhelage des Wagearmes verwandte Eötvös für jede Wage gesondert ein Fernrohr mit Skala. Diese beiden Ablesevorrichtungen waren wegen der Symmetrie der Massenverteilung im Apparat an den beiden Enden des etwa 45 cm langen äußersten Schutzkastens angebracht. Der Abstand jeder Skala von der Drehachse der Wagen, in der die Spiegel angebracht waren, betrug 60 cm.

O. Hecker hat in *dieser Zeitschr.* ***30****. S. 6. 1910* die Eötvössche Drehwage des Geodätischen Instituts beschrieben, die im Prinzip und den Dimensionen des Gehänges dem Eötvösschen Apparat völlig gleicht, aber statt der visuellen Ablese-

vorrichtung die photographische Registrierung und die automatische Drehung des Apparates von einem Azimut zum andern einführt. Die Registriervorrichtung hat jedoch zu einer unsymmetrischen Verteilung der Massen Anlaß gegeben, indem an dem einen Ende des äußersten Schutzkastens mit Hilfe von Trägern eine größere Aluminiumplatte angebracht ist, welche im Abstand von etwa 34 cm von der Drehachse den Registrierapparat aufnimmt, während an dem anderen Ende in geringerer Entfernung von der Achse ein Gegengewicht sich unmittelbar an die schmale Kastenwand anschließt. Diese Unsymmetrie kann leicht unter besonderen Umständen zu Fehlern in der Messung führen. Auch fehlt bei diesem Instrument die unerläßliche Registrierung der Temperaturschwankungen im Schwingungsraum. Demgegenüber erschien es mir notwendig, ein neues Modell der Drehwage zu konstruieren und die photographische Registrierung so zu treffen, daß die Massensymmetrie im Instrument wie bei der visuellen Methode von Eötvös streng gewahrt bleibt und die Aufzeichnung der Temperatur mit erfolgt. Ferner hat meine Erfahrung bei Messungen mit der Wage des Geodätischen Instituts auf mehr als 500 Stationen in Norddeutschland und Rumänien andere wichtige Änderungen wünschenswert gemacht, und zwar bezüglich der Dämpfung, der Arretierung, der Dimensionen aller unwesentlichen Teile und des Gewichts des Instrumentes u. a. Notwendig erschien auch ein Versuch, den Einfluß der Wärmestrahlung und schneller Temperaturänderungen, die zuweilen die Messungen stören, abzuschwächen. Die Registrierung der Temperatur, Erhöhung der Dämpfung, schnelle Arretierung u. a. wurden auf meine Veranlassung schon bei dem Instrument des Geodätischen Instituts für die Messungen im Gelände nachträglich eingeführt.

In dem nachfolgend beschriebenen Instrument hat die Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau meinen Plan und auch eigene Vorschläge namentlich seitens des Herrn Toepfer zur leichteren und schnelleren Handhabung des Apparates mustergültig durchgeführt, was ich besonders anerkenne. Das Instrument ist nach dem Eötvösschen Prinzip eine Doppelwage, die in derselben Weise wie bei Eötvös und wie oben beschrieben wurde, von drei Metallhüllen geschützt wird. Diese drei Hüllen sind voneinander thermisch isoliert. Die automatische Drehung wurde wie bei dem von Hecker beschriebenen Instrument beibehalten, doch ist das Uhrwerk, das die Drehung bewirkt, so eingerichtet worden, daß die Bewegung sehr sanft und ruhig erfolgt und die Wagen nicht in starke Bewegungen geraten. Fig. 2 und 3 geben ein Bild des ganzen Instrumentes. Als Basis dient ein Säulenstativ *S*, in dessen Kopf eine Buchse eingesetzt und die durch ein Handrad *H* leicht und sicher festgeklemmt wird. In der Buchse ist die vertikale Achse eingelassen, um die sich der Schutzkasten mit den Röhren drehen kann. Der Auflagedruck der Achse wird durch ein Stützkugellager aufgenommen und kann durch einen Schlitz *Z* im Säulenstativ hindurch reguliert werden. Am Kopf der Achse ist ein Aluminiumteller *T* angebracht, der einen auf der Buchse befestigten Kreis mit Zahnkranz *K* verdeckt und gegen Eindringen von Staub schützt. Ein Zahnrad des auf der Oberfläche des Aluminiumtellers befestigten Uhrwerkes *W* greift in den darunter liegenden Zahnkranz ein und bewirkt eine Drehung des ganzen Instrumentes. An bestimmten Stellen des Kreises sind Anschläge *A* angebracht, die in eine auslösbare Sperrklinke eingreifen und das Instrument zum Stillstand bringen. Die Anschläge können leicht versetzt werden, je nachdem man in 3, 4 oder 5 Stellungen des Instrumentes die Ruhelage der Wage angeben will. Die Auslösung bewirkt ein kleiner Topfelektromagnet *E*. Auslösevorrichtung und Sperrklinke sind ebenfalls auf dem Aluminiumteller *T* montiert.

Durch Vermittlung einer besonderen Uhr wird stündlich ein kurzer Stromschluß bewirkt, der den Magneten erregt und die Sperrklinke auslöst; das Instrument dreht sich dann ruhig und langsam bis zum nächsten Anschlag. Dem Prinzip nach stimmt diese Einrichtung, wie schon erwähnt, mit der von Hecker beschriebenen

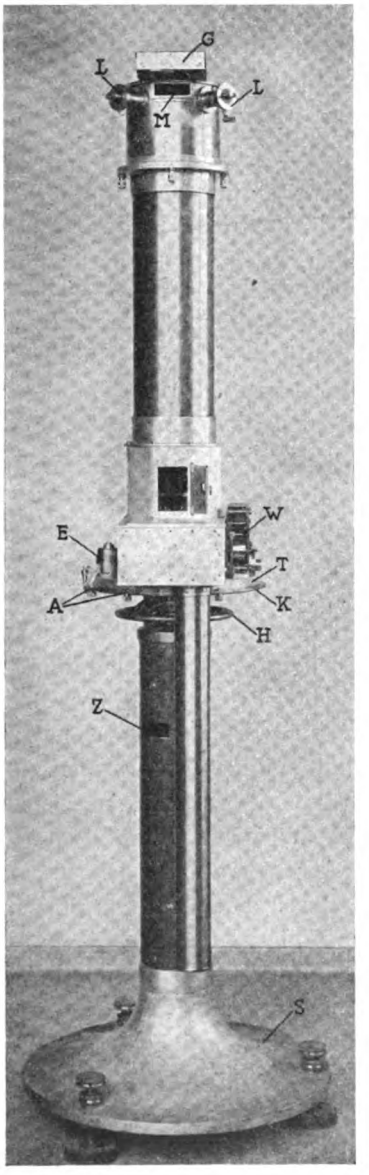


Fig. 2.

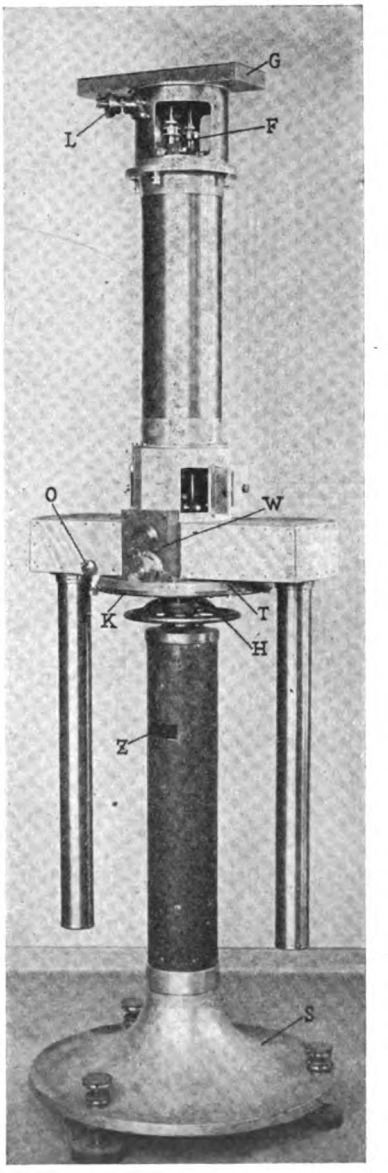


Fig. 3.

überein. Fig. 4 zeigt einen schematischen Querschnitt durch den oberen die Wagen bergenden Teil. Die Torsionsköpfe *F* sind zur leichteren Bedienung durch Kreuzschlitten zentrierbar und durch Mikrometerschrauben mit geteiltem Kopf fein drehbar; an ihnen ist der Torsionsdraht befestigt, der unten ein horizontal liegendes Aluminiumrohr von 40 cm Länge, den Wagearm trägt. Die Höhenlage des Armes im Kasten kann an einer Skala über dem Kopfe abgelesen werden.

Der 56 cm lange Torsionsdraht ist aus Platin-Iridium von 0,04 mm Stärke und runder Form. Über Versuche mit Drähten aus anderen Metallen und von anderer Form hoffe ich später berichten zu können. In das eine Ende des Aluminiumrohres ist ein Goldzylinder von ca. 29 g Gewicht eingesetzt, während von dem anderen Ende an einem etwa 60 cm langen Kupferdraht ein gleiches Gewicht herabhängt. Über dem Arm, unterhalb des Angriffspunktes des Torsionsdrahtes befindet sich ein kleiner Planspiegel *s*. Auf dem Boden des innersten Schwingungskastens jeder Wage ruht auf zwei gekuppelten Exzentern eine lose, den ganzen Boden bedeckende Kupferplatte. Von außen durch den Knopf *O* (Fig. 3) können beide Exzenter betätigt und die Platte gehoben und gesenkt werden. Das erfüllt einen doppelten Zweck. Die Platte kann zwecks Arretierung so weit gehoben werden, daß sie den Wagebalken gegen eine zweite, mit der Decke des Schwingungsraumes fest verbundene Kupferplatte drückt und den Torsionsfaden entlastet. Durch eine geeignete Vorrichtung ist die Platte in dieser Lage transportfähig gesichert. Die beiden Platten dienen ferner zur Verengung des Schwingungsraumes und infolgedessen zur Erhöhung der Dämpfung. Mit Hilfe der unteren beweglichen Platte kann die Dämpfung leicht variiert werden. Die variable Dämpfung ist schon von Eötvös eingeführt worden. Hier kann die Variation leicht und schnell mit Hilfe des Knopfes *O* ausgeführt werden. Um ein Kippen des Wagebalkens beim Arretieren zu verhindern, sind an jedem Schwingungsarm symmetrisch zur Achse zwei leichte Querspangen angebracht, wodurch auch die Angriffspunkte der arretierenden Bodenplatte unverändert definiert sind. Um durch Anwendung der photographischen Registrierung die Symmetrie der Konstruktion nicht zu stören und Fehlerquellen zu vermeiden, ist der Registrierapparat in der Achse des Instrumentes angeordnet. Hiermit verbinden sich gegenüber dem älteren Modell noch andere wesentliche Vorteile; man erhält zwecks größerer Ablesegenauigkeit einen längeren Lichtweg (etwa 80 cm), ohne neue Massen für die Ablesevorrichtung oder Registrierung seitlich in größerer Entfernung von der Achse anbringen zu müssen, die das Gewicht des Instrumentes und sein Trägheitsmoment erhöhen. Ferner läßt sich mit der photographischen die visuelle Methode leicht verbinden. Am Kopfende des äußersten Rohrmantels ist ein leichtes, flaches und lichtdicht verschlossenes Gehäuse *G* angebracht, in dem ein kleines Uhrwerk den Plattenrahmen (6,5 × 9 cm) erschütterungsfrei mit der Stundengeschwindigkeit von 4 mm bewegt. Zu beiden Seiten unterhalb der Registriereinrichtung befinden sich zwei Glühlämpchen *L* (Fig. 5, auch 2 und 3), deren Licht durch je ein Prisma *P*

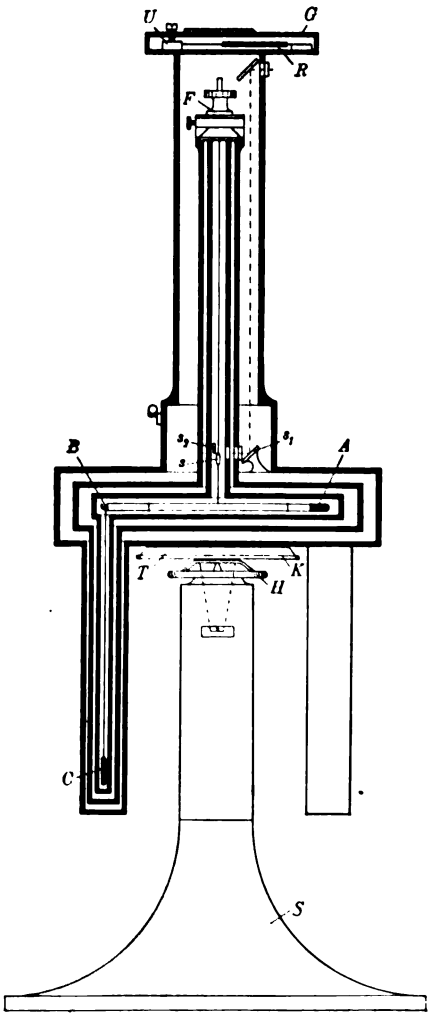


Fig. 4.

auf je einen auf der zweiten Schutzhülle befestigten und justierbaren Spiegel s_1 geworfen und von hier durch eine Linse zu den Wagespiegeln und von diesen zurück nach der photographischen Platte reflektiert wird, wo ein feiner Lichtpunkt entsteht In dem untersten Teil einer der innersten Röhren, die die Torsionsfäden bergen, ist ein kleines Metallthermometer mit Spiegel angebracht; in der zweiten Röhre befindet sich ein fester Spiegel, der die Nullmarke für die Stellung der Wagen abgibt. Beide entwerfen mit den Wagespiegeln je einen Lichtpunkt auf der photographischen Platte und sind, unabhängig voneinander, von außen her justierbar. Zum Zweck der visuellen Beobachtung wird ein Spiegel s_3 in den Lichtweg eingeschaltet, wodurch die vier Lichtpunkte auf eine von außen sichtbare, unterhalb der Kassette liegende kleine Mattscheibe mit Skala projiziert werden. Mit Hilfe dieses Spiegels können die Lichtpunkte auch nach dem Einlegen der Platte kontrolliert werden. Die Dämpfung der Wagen ist so groß, daß sie sich, nachdem sie durch die Drehung des Instrumentes in Bewegung gekommen sind, nach etwa 50 Minuten völlig beruhigen, so daß die photographische Fixierung der Lage der Wagen stündlich erfolgen kann. Die Lämpchen leuchten zu diesem Zweck nur stündlich kurz auf, um keine Temperaturstörungen hervorzurufen. Zu diesem Zweck enthält die Uhr, welche den Strom für die Erregung des Magneten zum Auslösen der Sperrklinke schließt, ein zweites Kontaktsystem, das den Stromschluß für die Lämpchen bewirkt.

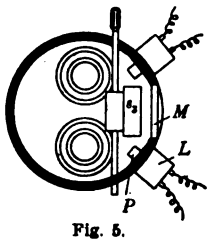


Fig. 5.

Zur Abschwächung der Temperaturstörungen bei den Messungen im Gelände ist in dem innersten Raume eine besondere Einrichtung getroffen, die auch auf der Beobachtungsstation leicht verstärkt werden kann. Diese und ein besonderer äußerer Schutz haben sich bei Messungen mit dem Apparat im Gelände selbst am Tage bei Sonnenstrahlung sehr bewährt.

Auf dem obersten Schutzkasten sind noch zwei zueinander senkrechte Niveaus für die Horizontierung des Instruments und eine Bussole für seine Orientierung in der Anfangsstellung angebracht. Die Orientierung in den übrigen Stellungen ist durch die Anschläge am Kreise gegeben. Der Oberteil des Instrumentes wiegt etwa 20 kg; die Säule kann in zwei Teile zerlegt werden, so daß das Ganze sehr leicht transportiert wird. Seine Gesamthöhe ist etwa 175 cm. Die leichte Arretierung und die Zugänglichkeit aller Justiereinrichtungen von außen gestaltet die Aufstellung und Bedienung des Apparates außerordentlich leicht und einfach. Zu dem Apparat gehört ein leichtes Leinwandzelt mit doppelten Wänden und doppeltem Fußboden; die Zwischenwände sind mit leichtem Isoliermaterial gefüllt, um schnelle Temperaturänderungen zu vermeiden.

Die Aufstellung des besonders konstruierten Zeltes und des Instrumentes nimmt kaum $^1/_2$ Stunde in Anspruch.

Ein zweites kleineres Modell der Drehwage ist in Vorbereitung, das bezüglich der Krümmungsgrößen ($^1/_{\varrho_1} - {}^1/_{\varrho_2}$) und λ weniger empfindlich ist, aber bezüglich der horizontalen Gradienten der Schwere dieselbe Empfindlichkeit wie das größere Modell besitzt. Da im allgemeinen für die praktische Geologie die Bedeutung der Gradienten die der Krümmungsgrößen überwiegt, so kann man hoffen, daß das kleinere Modell in vielen Fällen von Nutzen sein wird.

Ein Apparat zur Bestimmung der sphärischen und der chromatischen Aberration von Objektiven nach der Foucaultschen Messerschneidenmethode.

Von

Dr. **A. Wetthauer** in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Bei dem Foucaultschen Objektivprüfverfahren[1]), das heutzutage allgemein unter dem Namen Messerschneidenmethode bekannt ist, läßt man von einem fernen auf der Objektivachse gelegenen leuchtenden Punkte Lichtstrahlen in das zu untersuchende Objektiv fallen, die zu einem Bildpunkte auf der Achse desselben vereinigt werden. Bringt man das zur Beobachtung dienende Auge so in die Nähe des Bildpunktes, daß alle zur Erzeugung dieses Bildpunktes dienenden Strahlen in das Auge gelangen, so erscheint das Objektiv vollkommen gleichmäßig leuchtend. Deckt man nun durch eine Messerschneide, die man bis zur Objektivachse in den Strahlenkegel hineinführt, einen Teil dieser Strahlen ab, so erscheint nur die obere oder untere Objektivhälfte leuchtend, wie das in Fig. 1 schematisch zu erkennen ist (Stellung 1 und 2). Zwischen den Stellungen 1 und 2 der Messerschneide gibt es eine dritte nämlich genau im Bildpunkte, bei welcher, ein fehlerfreies Objektiv vorausgesetzt, dieses mit verminderter ursprünglicher Helligkeit, da ein Teil der den Bildpunkt erzeugenden Strahlen durch die Messerschneide abgedeckt ist, wieder vollkommen gleichmäßig hell erscheint. Besitzt das Objektiv aber chromatische oder sphärische Fehler, dann vereinigen sich nicht sämtliche Strahlen in einem Bildpunkte, sondern man hat für jedeZone und für jede Farbe einen besonderen auf der Achse gelegenen Bildpunkt. Bei monochromatischem Licht wird nur die Zone gleichmäßig hell erscheinen, die ihre Strahlen zu dem an dem Messerschneidenort befindlichen Bildpunkt vereinigt, für die anderen Zonen trifft das nicht zu. Hat das Objektiv chromatische Fehler, so werden in diesem Falle die beiden Objektivhälften auch verschiedene Färbung zeigen, falls man bei der Untersuchung nicht monochromatisches Licht anwandte.

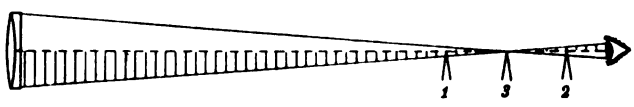


Fig. 1.

Die Hartmannsche Objektivprüfungsmethode führt durch Ausmessung der direkt beobachteten oder photographierten Extrafokalbilder und durch Rechnung zu den Vereinigungsweiten. Diese Vereinigungsweiten liefert die Messerschneidenmethode für das sichtbare Licht unmittelbar, wenn man sich der aus der Figur 2 erkennbaren Anordnung bedient.

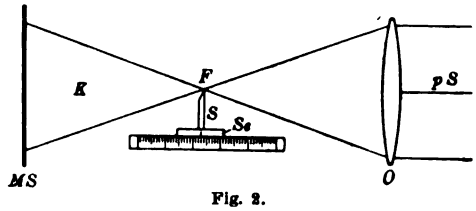


Fig. 2.

Die Messerschneide S ist auf einem in der Achsenrichtung des Objektivs O verschiebbaren Schlitten Se befestigt. Das mit der Objektivachse gleichgerichtete parallele Strahlenbüschel pS wird im Brennpunkte F vereinigt. Der von F ausgehende Strahlenkegel K erzeugt auf der Mattscheibe MS einen Lichtkreis. Dieser wird durch auf photographischem Wege hergestellte, der Matt-

[1]) *Recueil des travaux scientifiques de Léon Foucault, Paris, 1878, S. 232.*

scheibe anliegende Ringblenden in Kreisringe zerlegt, die den Objektivzonen entsprechen. Die Schneide befindet sich, vorausgesetzt, daß der Bildpunkt bei F genügend durch die Schneide abgeblendet ist, im Brennpunkte einer bestimmten Zone, wenn der zugehörige herausgeblendete Kreisring gleichmäßig hell erscheint. Die Lage der Brennpunkte der Zonen kann unmittelbar an der Skala der Schlittenführung abgelesen werden.

Zur bequemen Anwendung der Methode dient der in der Figur 3 und 4 ersichtliche Apparat. Er besteht im wesentlichen aus einer Grundplatte, die zwei auf Schlitten befestigte Säulen A und B trägt. Zur Höhenjustierung ihrer Köpfe sind

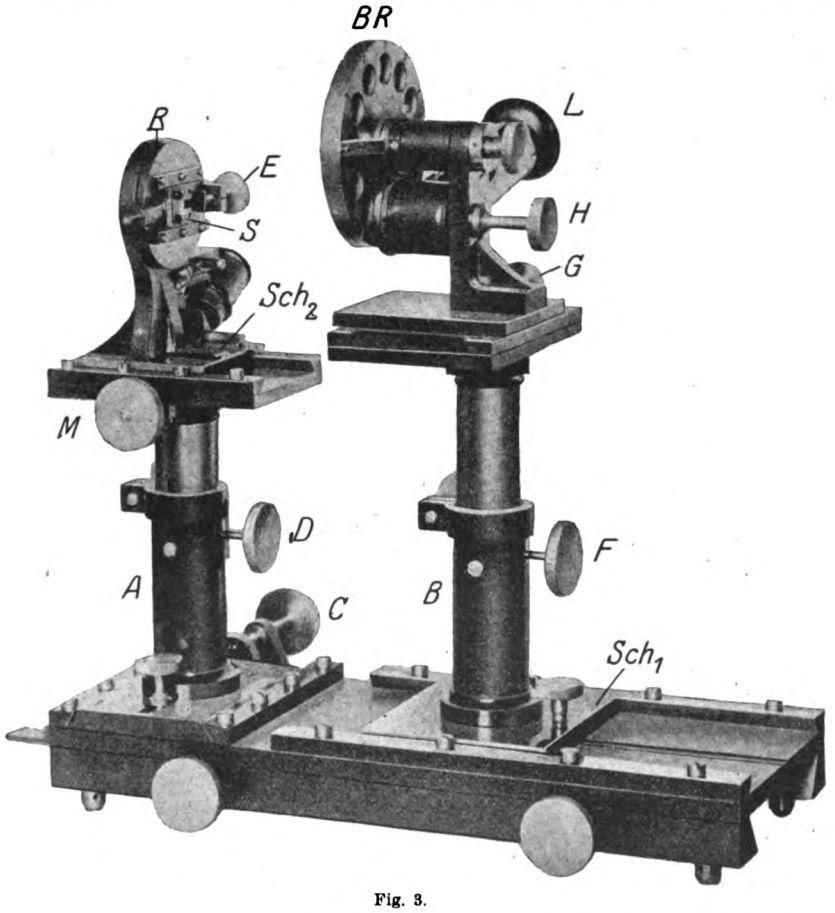


Fig. 3.

beide Säulen mit Triebverstellung und Klemmung versehen. An dem durch den Triebknopf M in Richtung der Objektivachse verstellbaren Schlittenteil des Kopfes der Säule A befindet sich die Schneide S, die durch die Schraube E auch senkrecht zur Objektivachse verstellbar ist. Die Schneidenstellung kann an dem Nonius der seitlichen, durch ein Lämpchen beleuchtbaren Skala Sk abgelesen werden. Die Skala ist 20 mm lang und hat $^1/_2$ mm Teilung. Die Schneide ist auf dem drehbaren Ring R befestigt, wodurch es möglich ist, bei Untersuchungen des Strahlenganges außerhalb der Objektivachse die Schneidenkante in und senkrecht zur Meridionalebene des zu untersuchenden Lichtbündels verlaufen zu lassen.

Der Kopf der Säule B trägt den Blendenringrevolver BR, welcher mit dem durch die Schraube G beweglichen Schlitten zu justieren ist. Mit der Lupe L ist

das untere für die Beobachtungen nur in Frage kommende Loch des Revolvers zu betrachten. An dem diesem Revolverloch zugekehrten Ende der Lupenfassung befindet sich, um die seitliche Beobachtung zu ermöglichen, ein rechtwinkliges Prisma. Die Fassung ist durch Drehen um die Achse der Halteschraube *H* in eine für den Beobachter bequeme Lage zu bringen. Der Revolver besitzt 12 Löcher, von denen 10 die zu den Messungen notwendigen, der Größe nach geordneten, mit einer Mattscheibe verbundenen Ringblenden tragen, deren Durchmesser sich verhalten wie die Zahlen 1 bis 10. Damit man die Ringblenden bei der Beobachtung leicht wechseln

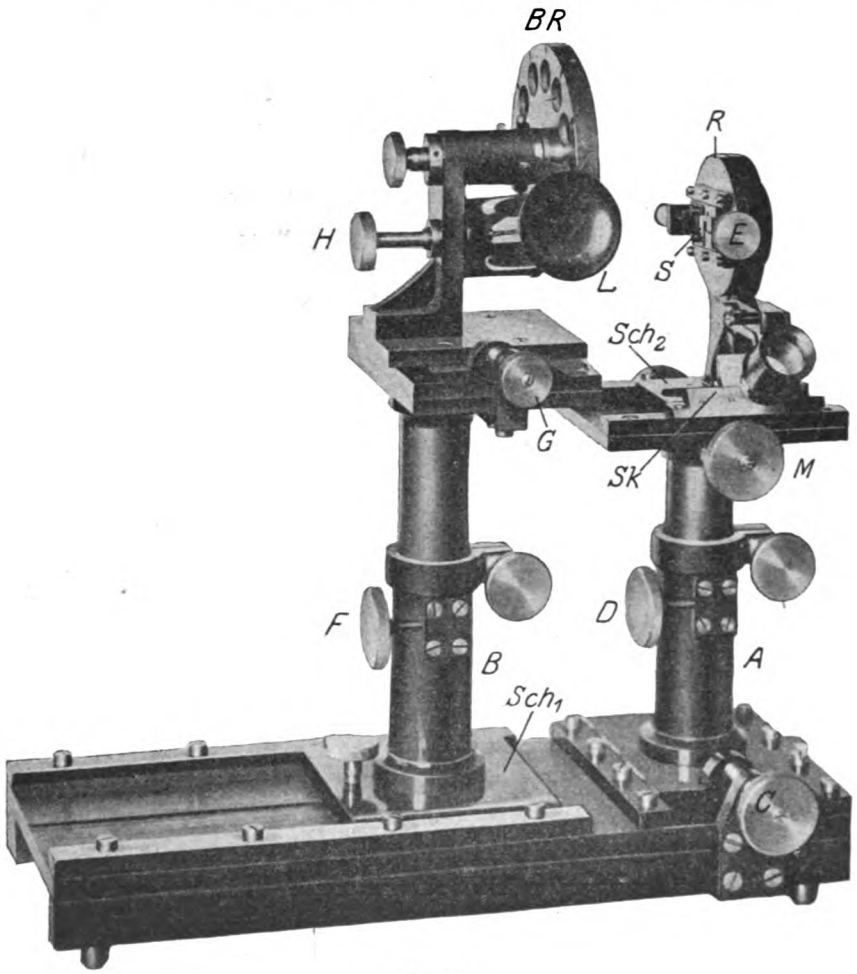


Fig. 4.]

kann, sind diese Blenden in dem Revolver untergebracht. Die 10 Ringblenden sind im 11. Revolverloch zu einem System konzentrischer Ringblenden zusammengestellt und von einer 11. ein wenig größeren Ringblende umgeben. Diese äußere, im Durchmesser um etwa ein 20stel größere als die größte zur Messung dienende Ringblende, wird zum Einstellen des Apparates gebraucht, und zwar in der Weise, daß man die Peripherie des auf der Mattscheibe erzeugten Lichtkreises zur Deckung mit dieser größten Ringblende bringt, was beim Aufzeichnen der Kurven der sphärischen Aberration entsprechend zu berücksichtigen ist. Wollte man den Lichtkreis, der auf der Mattscheibe des Revolvers entsteht, bis zum Rande ausnutzen, so würden bei der

Messung für die äußerste Zone des Objektivs störende, von der Objektivfassung herrührende Beugungserscheinungen auftreten. Die Säule *B* ist mit Hilfe des Schlittens *Sch* in Richtung der Objektivachse verstellbar, wodurch es möglich ist, das Blendensystem Objektiven mit verschiedenem Öffnungsverhältnis anzupassen. Im 12. Loch des Revolvers befindet sich ein kreisförmiger Mattscheibenausschnitt, der, da er von dem gleichen Durchmesser wie die größte zur Einstellung dienende Ringblende ist, ebenfalls wie diese zur Einstellung des Apparates dienen kann.

Um eine Bestimmung der sphärischen und chromatischen Aberration mit diesem Apparat auszuführen, verfährt man folgendermaßen. Der durch die Schraube *M* bewegliche, als Schneidenträger dienende Schlitten Sch_2 wird auf Skalenteil 10 gestellt und der Kopf der Säule *A* durch die Schrauben *D* und *C* sowie durch Verschieben des gesamten Aufsatzes so verstellt, daß sich der durch das zu untersuchende Objektiv auf der Achse erzeugte Bildpunkt eines unendlich fernen leuchtenden Punktes bei horizontaler und vertikaler Schneidenstellung an der Schneidenkante befindet. Während der Einstellung des Revolverkopfes muß die Schneide durch die Schraube *E* verstellt werden, damit sie den Strahlengang nicht beeinflußt. Durch den Schlitten Sch_1 und die Schrauben *G* und *F* wird der Revolver so verschoben, daß der durch die Lupe beobachtete Mattscheibenkreis desselben durch das Licht des von dem Bildpunkte kommenden Strahlenkegels gerade ganz ausgefüllt wird. Alsdann kann die Messung der Vereinigungsweiten vorgenommen werden.

Wie erwähnt, entsprechen die Ringblenden des Revolvers (abgesehen von der erfahrungsgemäß nicht störenden, durch die Zonenfehler des Objektivs bedingten geringen Übereinanderlagerungen benachbarter Zonen) den Zonen des zu untersuchenden Objektives. Die Schneidenstellung senkrecht zur Objektivachse, d. h. das Anschneiden des Strahlenkegels, wird durch die Schraube *E* so reguliert, daß bei möglichst geringer Verstellung der Schneide in der Achsenrichtung durch Drehen der Schraube *M* der Helligkeitsumschlag von der einen auf die andere Hälfte der eingestellten größten Ringblende erfolgt. Ist die Schneidenstellung in dieser Weise für die Messungen justiert, dann kann man für jede eingestellte Ringblende des Revolvers die Schneidenstellung, bei der die Ringblenden gleichmäßig hell erscheinen, an der Skala *Sk* ablesen. Durch die Differenzen dieser Ablesungen sind die Differenzen der Vereinigungsweiten der verschiedenen Objektivzonen gegeben. Die Methode ist nur für das sichtbare Licht der Wellenlängen von etwa 430 $\mu\mu$ bis 660 $\mu\mu$ brauchbar.

Der hier beschriebene Apparat ist in der Praxis häufig angewandt worden, besonders dann, wenn es sich darum handelte, schnell zu einem Prüfungsergebnisse zu kommen.

Eine einfache Registriervorrichtung für das Zöllnersche Photometer.

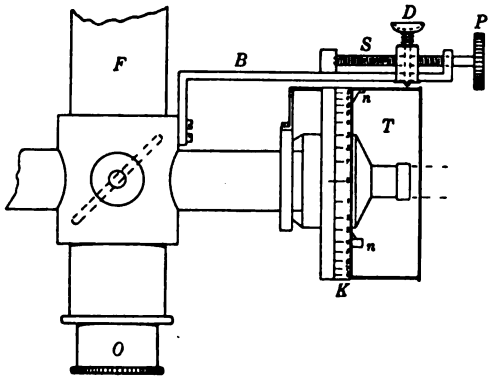
Von

K. Schiller in Leipzig.

Jedes Photometer zur Bestimmung von Gestirnshelligkeiten sollte eigentlich mit einer Einrichtung zum automatischen Aufschreiben der Skalen- oder Kreisablesungen eingerichtet sein, nicht nur, damit Ablese- und Schreibfehler vermieden werden, oder aus Arbeitszeitersparnis, damit ein bestimmtes Programm schneller erledigt und der Beobachtungsabend besser ausgenutzt werden kann, sondern weil der fortwährende

Übergang des Auges vom Okular zur beleuchteten Skala oder zum Notizbuch den Beobachtungen nachteilig ist, da das Sehorgan erst wieder einige Zeit nach Eintritt völliger Dunkelheit seine größte Empfindlichkeit für Helligkeitsdifferenzen erlangt. Den Nachteil, den das Ablesen der erleuchteten Skalen mit sich bringt, haben wohl die Beobachter, die ein Auslöschphotometer benutzten, zuerst erkannt, da die Ermüdung des Auges bei den Messungen mit diesem Apparat eine große Rolle spielt. Die automatischen Schreibvorrichtungen sind meistens in der Weise konstruiert, daß die Teilung mit erhabenen Strichen in Metall ausgeführt ist, gegen die ein Papierstreifen angedrückt wird, auf dem sich die Stelle der Skala, die in der Umgebung des ebenfalls erhabenen Indexstriches liegt, abbildet. Die Einrichtung ist bei Keilphotometern, bei denen es sich um lineare und ebene Teilungen handelt, verhältnismäßig einfach, bei den Polarisationsphotometern mit ihren Kreisteilungen dagegen schwieriger anzubringen. Namentlich stellt die Anfertigung von Typenrädern mit erhabenen Zahlen an die Fertigkeit des Mechanikers schon größere Anforderungen und beansprucht viel Zeit.

Deshalb habe ich eine einfache Einrichtung (s. Figur) ersonnen, die es vor allem erlaubt, ältere, sonst noch brauchbare Photometer Zöllnerscher Art in solche mit Registriervorrichtung umzuwandeln, die eine gewisse Ähnlichkeit mit der von H. C. Vogel (*diese Zeitschr. 1. S. 391. 1881*) hat.



Mit dem Kreis, der die Drehung des Nicolschen Polarisationsprismas angibt, und zwar dem sogenannten Intensitätskreis, ist eine Metalltrommel *T* von etwa 4 cm Breite verbunden, auf die in gleicher Weise, wie bei den Trommeln der bekannten meteorologischen Registrierapparate, ein Blatt Papier aufgespannt werden kann. Über dieser Trommel befindet sich in fester Verbindung mit dem Fernrohr *F*, nach der einen Seite frei schwebend eine Brücke *B*, die an dem freien Ende eine Stechvorrichtung trägt. Diese Vorrichtung besteht aus einer Spitze, die an einer Blattfeder befestigt ist und sich beim Druck auf einen Knopf *D* in das Papier der Trommel einbohrt. Damit die Spitze tief genug eindringen kann, ist das Papierblatt mit einer dünnen Filzschicht unterlegt. Die Stechvorrichtung kann mit einer Schraube *S* in der zur Trommelachse parallelen Richtung fortbewegt werden, gegen eine seitliche Verschiebung muß sie dagegen durch eine gute Führung gesichert sein.

Die Messung geschieht nun beim Zöllnerschen Photometer in der Weise, daß man die vier Stellungen des Intensitätskreises ermittelt, bei denen Gleichheit der Intensität des zu messenden und des künstlichen Sterns eintritt. Aus den Differenzen der Ablesungen erhält man den Winkel, den die Hauptschnitte der Prismen bei Helligkeitsgleichheit miteinander bilden. Die vier Punkte, die zu den Messungen desselben Sterns gehören, liegen immer auf einer geraden Linie, wenn man jedesmal nur beim Übergang zu einem andern Stern das Stechwerk verschiebt. Außer der Länge, die dem ganzen Umfang der Trommel auf dem Streifen entspricht, braucht man zur Berechnung der Helligkeitsverhältnisse nur noch den linearen Abstand je zweier Punktepaare für jeden Stern zu kennen. Zur Auswertung konstruiert man sich am vorteilhaftesten eine Skale, mit der man anstatt der linearen Abstände der Punkte-

paare unmittelbar die entsprechenden Winkel, oder noch bequemer, die Quadrate ihrer Kosinus erhält, denen die Intensitäten proportional sind.

Verschiebt man das Stecherwerk für jeden Stern um $^1/_2$ mm, was man am besten automatisch durch einen Anschlag bewirkt, so lassen sich auf einem Streifen ohne Wechsel (bei einer verfügbaren Breite von 3 cm) 60 Sterne registrieren. Eine Unterbrechung der Beobachtungen nach Erledigung so vieler Objekte wird wohl kaum als lästig empfunden werden.

Es muß noch erwähnt werden, daß die Lamelle, die die Enden des Papierstreifens auf der Trommel zusammenhält, ungefähr an die Stelle zu legen ist, die der senkrechten Kreuzung der beiden Nicol entspricht, weil dorthin beim Registrieren keine Marken fallen.

Diese Einrichtung hat den Vorteil, daß sie von jedem einigermaßen geschickten Institutsmechaniker leicht angefertigt werden kann und daher kaum mehr als das Material kostet.

Referate.

Der „Autoreducteur" von Leemann-Kern.

Nach dem Instrument.

Die bekannte Werkstatt für geodätische und topographische Instrumente von Kern & Co. (A.-G.) in Aarau (Schweiz) hat die Anzahl der Tachymeter-Instrumente, die ohne Rechnung die Horizontaldistanz und den Höhenunterschied zwischen dem Standpunkt des Instruments und dem Lattenpunkt liefern sollen, um eins vermehrt durch Ausführung des in der Überschrift genannten Werkzeugs, „System Leemann" (Schweiz. Pat. Nr. 78684).

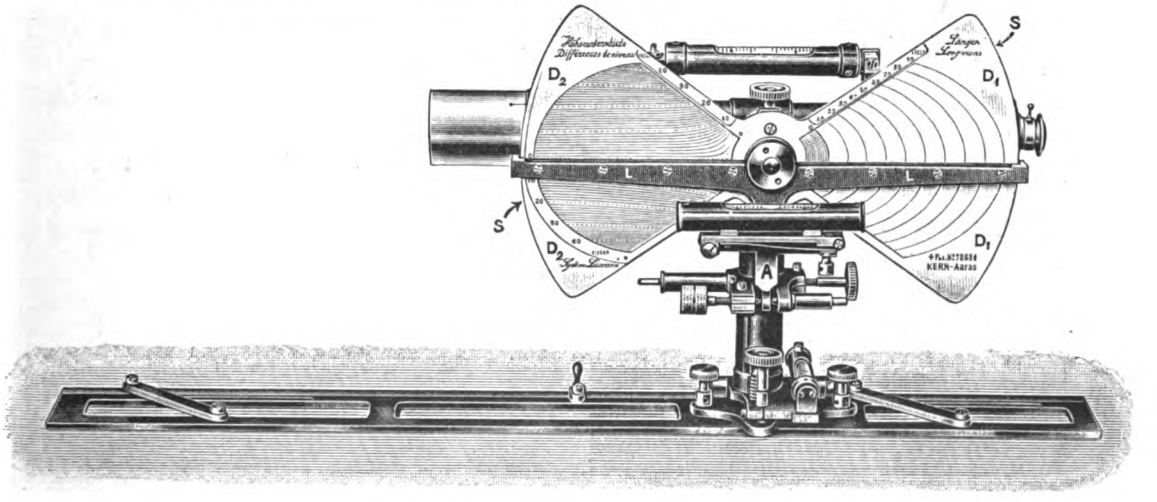


Fig. 1.

Es ist, wie Fig. 1 veranschaulicht, eine Kippregel, die sich von den gewöhnlichen Maßtischaufsätzen dadurch unterscheidet, daß an Stelle des sonst vorhandenen Höhenkreises oder der zwei Höhenbögen (Höhenwinkelsektoren) hier zwei dünne Metallscheiben (Sektorplatten) SS vorhanden sind, auf deren rechter eine Entfernungskurvenschaar $D_1 D_1$ und auf deren linker eine Höhenunterschiedskurvenschar aufgetragen ist (durch Tiefätzung). Abgelesen wird an diesen Kurven mit Hilfe der durch die Kippachse des Fernrohrs gehenden Kante des Lineals LL, das mit dem Hebel A fest verbunden ist und mit Hilfe des Zirkels (s. u.). Die Kante von L, dicht vor den Scheiben SS liegend, aber ohne Berührung damit, kann durch die auf A befestigte Libelle („Kolli-

mationslibelle") genau horizontal gerichtet werden. Die Kurvenplatten SS sind natürlich mit dem Fernrohr fest verbunden und machen also die Kippbewegungen des Fernrohrs mit (die in Fig. 1 oben sichtbar werdende Libelle ist nur eine Nivellierlibelle für die Fernrohrziellinie bei horizontalen Sichten).

Ich gehe mit Rücksicht auf den Raum hier nicht ein auf die einfache Theorie der zwei Kurvenschaaren $D_1 D_1$ und $D_2 D_2$, die in Fig. 2 in etwas größerem Maßstab und in der Lage bei aufwärts gerichteter Ziellinie angedeutet sind, um nur noch ein Wort beizufügen über die *Anwendung* des „Autoreducteurs". Nachdem im Fernrohr der Lattenabschnitt an der senkrecht stehenden Latte abgelesen ist und mit der Kollimationslibelle die Kante von L horizontal gerichtet ist, entnimmt man mit dem *Zirkel* an der Kante von L auf der rechten Platte $D_1 D_1$ die horizontale Distanz: durch die kleinen Pfeile rechts in Fig. 2 wird die Zirkelöffnung für den Lattenabschnitt

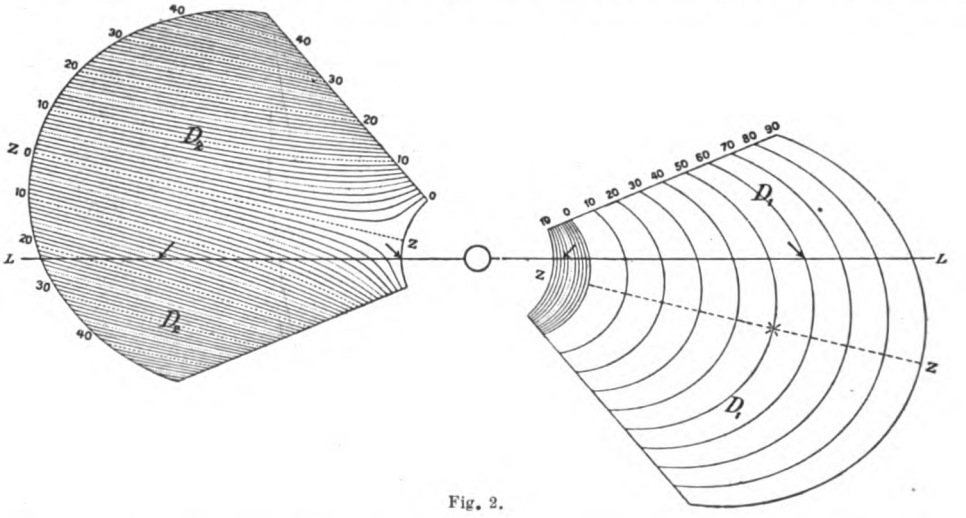


Fig. 2.

67,3 cm = (60 + 7,3) cm angedeutet; und diese Distanz kann also sogleich an der Kante des Kippregel-Grundlineals oder am Parallellineal auf dem Maßtischblatt abgesetzt werden. Um den Höhenunterschied zu erhalten, hat man mit unveränderter Zirkelöffnung in das Diagramm $D_2 D_2$ zu gehen und zwar die eine Zirkelspitze an der Kante L auf die Nullinie von D_2 zu setzen: wo die andere Zirkelspitze an L hintrifft, liefert die dort erreichte Kurve D_2 den Zahlenwert des Höhenunterschieds. Die Bezifferungen der Segmentplatten des Instrumentes beziehen sich zunächst auf den Maßstab 1 : 1000 der Planzeichnung; für andere Maßstäbe sind auswechselbare Bezifferungen (1 : 2000, 1 : 5000) vorhanden oder es kommt noch (für 1 : 2500 oder 1 : 4000) der Gebrauch eines Reduktionsmaßstabs in Betracht. Ein Prospekt der ausführenden Werkstatt enthält Anweisungen für den Fall, daß die Di gramme nicht ausreichen (lange Zielungen), oder daß es sich um eine halbtrigonometrische Höhenbestimmung handelt (Entnahme der horizontalen Entfernung aus einem bereits vorhandenen Lageplan), oder für Berücksichtigung des wechselnden Wertes der Additionskonstanten des entfernungsmessenden Fernrohrs.

Der Leser wird sich nach den vorstehenden Notizen bereits eine Vorstellung von Vorzügen und Nachteilen und selbst von der erreichbaren Genauigkeit dieser Kippregel bilden können: die Ablesung des Höhenunterschieds ist jedenfalls im allgemeinen wenig bequem, selbst mühsam; die Genauigkeit wird vom Prospekt wohl überschätzt. Doch muß man sich das endgültige Urteil vorbehalten, wie immer bei derartigen Instrumenten, bis man Gelegenheit hatte, die neue Konstruktion, die jedenfalls beachtenswert ist, selbst zu *erproben*. *Hammer.*

Hensoldt's Kreuzvisier.

Nach dem Instrument.

Die bekannte optische Werkstatt M. Hensoldt & Söhne, Wetzlar, bringt soeben unter dem Namen *Kreuzvisier* ein neues Werkzeug zum Abstecken rechter und flacher Winkel in den Handel.

Das neue Prismenkreuz ist durch die beistehenden Figuren wohl genügend erklärt (1. die Form der zwei übereinander gesetzten Prismen zeigend und den Strahlengang andeutend, 2. und 3. Ansichten mit Fassung).

Die zwei Prismen sind besonders mit Rücksicht auf möglichst kompendiöse Form des Instrumentchens sehr klein gehalten, mancher Benützer würde sich die Stabbilder wohl etwas länger wünschen.

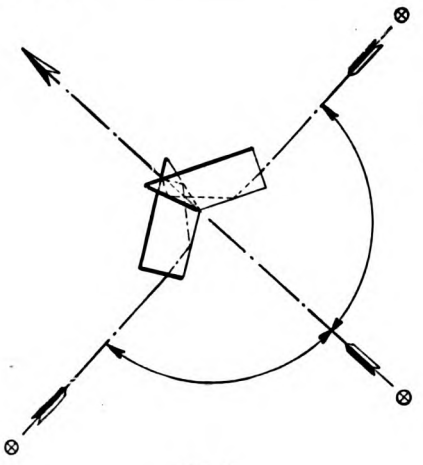


Fig. 1.

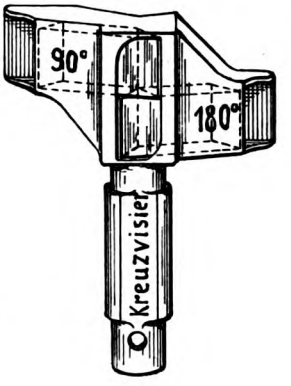


Fig. 2.

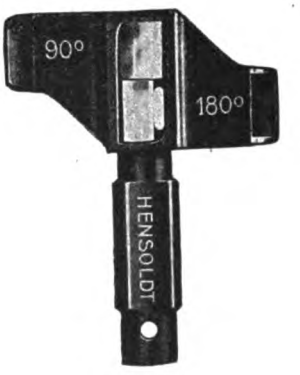


Fig. 3.

Der erste große Vorzug des neuen Geräts scheint mir der zu sein, daß bei der gewählten Prismenform (wie beim Wollastonschen Prisma) keine mit *Spiegelbelag* versehene Fläche erforderlich ist: die Spiegelbeläge leiden, trotz Schutz durch Lacküberzug usf., bei im Freien zu gebrauchenden Instrumenten rasch unter dem Einfluß von Erschütterungen und von Feuchtigkeit.

Die in dem neuen Prisma natürlich ebenfalls auftretenden „Nebenbilder" stören besonders beim Prismen*kreuz* kaum, schon weil sie in diesem Fall nicht übereinander erscheinen.

Der zweite große Vorzug ist der nach heutigen Begriffen äußerst geringe *Preis:* in Etui 65 Mk. Schon damit ist dem Instrumentchen, das mir auch bei einigen *Genauigkeits*versuchen sehr befriedigende Ergebnisse geliefert hat, weite Verbreitung gesichert. *Hammer.*

Der Kreiselkompaß im Schachtbau.

Von O. Martienssen. *Elektrotechn. Zeitschr. 41. S. 462. 1920.*

Das seit Jahrzehnten verwendete Gefrierverfahren von Poetsch zum Abteufen von Schächten im schwimmenden Gebirge hat durch Verwendung des Kreiselkompasses eine wesentliche Förderung erfahren. Bekanntlich wird bei dem Gefrierverfahren um die Schachtbaustelle ein Kranz von Bohrlöchern niedergebracht, in denen je ein doppelwandiges Rohr eingeführt wird. Durch die Rohre wird ständig eine stark abgekühlte Salzlösung hindurchgepumpt und hierdurch im Laufe mehrerer Monate eine dicke Frostmauer um die Baustelle gebildet. Selbstverständlich ist die Gefahr des „Verlaufens" der Bohrlöcher und damit des Mißlingens des ganzen Baues in größeren Tiefen bei der Ungewißheit über die Lage der Bohrlöcher außerordentlich groß. Der Bohrloch-Neigungsmesser der Gesellschaft für nautische Instrumente G. m. b. H. in Kiel erlaubt nun eine ständige Überwachung der Bohrarbeit. Der Grundgedanke des Apparates ist folgender: In einem Metallzylinder, der in das Bohrloch bis zu jeder gewünschten Tiefe eingeführt werden kann und sich durch eine Bürstenführung im Loche zentriert, sind zwei Neigungspendel in zueinander senkrechten Ebenen aufgehängt. Durch einen kleinen Kreiselkompaß werden sie dauernd in SN- bzw. OW-Richtung gehalten. Die Abweichungen der Pendel von der Lotrechten werden auf zwei Streifen aufgezeichnet. Bezüglich der sehr schönen technischen Einzelheiten des Neigungsmessers und die damit erzielten Erfolge wird auf die Originalarbeit verwiesen.

Auf eine ältere Mitteilung von K. Haussmann *(Glückauf 1914. II. S. 1074)* über den gleichen Gegenstand sei aufmerksam gemacht. *G.*

Bekanntmachung.

Vom 1. Juli 1921 erhalten die geprüften Flüssigkeitsthermometer mit Ausnahme der Hauptnormal- und Fieberthermometer, sowie der Beckmannschen Thermometer neben dem Beglaubigungsstempel einen Aufdruck, welcher den größten bei der Prüfung gefundenen Fehler angibt, wenn dieser innerhalb der zulässigen Grenzen bleibt. Diese Fehlergrenzen betragen für Thermometer:

mit Skalenumfang	bei Einteilung der Skale in			
	$^1/_{100}$ oder $^1/_{50}{}^0$	$^1/_{20}$, $^1/_{10}$ oder $^1/_5{}^0$	$^1/_2$, $^1/_1{}^0$	mehrf. Grade
zwischen $-$ 190 und $+$ 20°	—	1°	3°	—
„ $-$ 80 „ $+$ 20°	—	0,5	1	—
„ $-$ 30 „ $+$ 100°	0,05°	0,25	0,5	—
„ $-$ 5 „ $+$ 200°	—	0,5	1	—
„ $-$ 5 „ $+$ 300°	—	1	2	—
„ $-$ 5 „ $+$ 400°	—	—	3	5°
„ $-$ 5 „ $+$ 700°	—	—	5	10°

Auf Thermometer, die nicht ihrer ganzen Länge nach der zu messenden Temperatur ausgesetzt werden, muß der Fabrikant die Benutzungsweise auf der Rückseite der Skale vermerken durch Aufschriften wie „Eintauchend bis zum Wulst“, „Eintauchend bis 0°“ usw. und die Temperatur des herausragenden Fadens.

Von gleichem Zeitpunkt ab werden nur den geprüften Hauptnormalthermometern und den Beckmannschen Thermometern ständig Prüfungsscheine beigegeben, allen anderen Thermometern nur auf besonderen Antrag des Einsenders. Für die Prüfungsscheine wird eine besondere Gebühr erhoben, welche bei den zuerst genannten Gattungen 5 M, bei allen übrigen Thermometern 2 M beträgt.

Durch diese Maßnahmen wird die Abfertigung der geprüften Instrumente vereinfacht und damit einer größeren Erhöhung der Gebühren vorgebeugt, ohne daß dem Nutzen der Prüfung Abbruch geschieht. Denn der Prüfungsschein ist überflüssig in den vielen Fällen, wo es dem Benutzer der Instrumente nicht auf die Einzelfehler ankommt, sondern nur auf die Gewißheit, daß die Fehler innerhalb einer bestimmten Grenze bleiben. Der Aufdruck dieser Grenze auf dem Thermometer selbst ist außerdem für den Beobachter bequemer, als die Mitteilung auf einem Prüfungsschein.

Charlottenburg, den 26. Mai 1921.

Der Präsident
der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
gez. E. Warburg.

Berichtigung.

Zu dem Referat auf S. 128 des Aprilheftes über das Buch von Dr. H. Lehmann, Die Kinematographie, 2. Aufl. von Dr. W. Merté. Bd. 358 der Sammlung: Aus Natur und Geisteswelt ist zu bemerken, daß auf S. 92 des genannten Büchleins von Zeile 1 bis Zeile 26 die Zeitlupe besprochen wird. Für ein Stichwörterverzeichnis konnte der Verlag den nötigen Raum nicht zur Verfügung stellen, sonst hätte der Referent schon in einem solchen Verzeichnis einen Hinweis auf die Zeitlupe oder das Zeitmikroskop finden können. *Merté.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

GENERAL LIBRARY
OCT 11 1921
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ
für
Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von
L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
R. Straubel in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

7. Heft: Juli.

Inhalt:

Josef Frank, Über zwei astronomische arabische Instrumente S. 193. — Dr. A. Klughardt, Die Belichtungsvorgänge und das Auflösungsvermögen beim Hochfrequenz-Kinematographen S. 201. — Prof. L. Schupmann †, Berechnung der Medial-Fernrohre mit einfacher Spiegellinse S. 212. — Dr. H. Harting, Astigmatismus aplanatischer Linsen S. 219.

Bücherbesprechungen: R. Hugershoff und H. Cranz, Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen S. 222. — C. Pulfrich, Über Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen und die ihr dienenden Instrumente S. 224.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

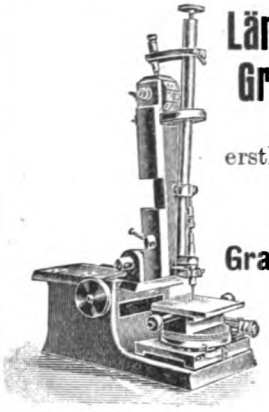
Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch. Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für alle übrigen Zahlungen Berlin Nr. 11100 Julius Springer.



Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener Präzisionsmechanischen Werkstätten [6147]

G. KESEL

G. m. b. H.

in Kempten i. Allg.

Gravier-Apparat zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

Präzisionsoptik

Objektive und Okularlinsen

Prismen, Dachprismen, Sextantspiegel, Planparallelplatten. Versilberung optischer Gläser 96,1% Refl. lt. Prüfung d. Reichsanstalt, Oberflächenspiegel, Fadenkreuze, Mikrometer, Netzteilungen

J. D. Möller, Wedel b. Hamburg

Gegründet 1864

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,

RATHENOW a. H.

WALTHER PETZOLDT

Werkstätten für Präcisionsmechanik

Potsdam, Lennéstraße 44

Herstellung wissenschaftl. Original-Instrumente

Astronomie
Geodäsie
Erdmagnetismus
Kinematographie
insbesondere
Meßinstrumente mit
Registrierwerk und
Typendruckvorrichtung [6125]

Durch mich ist zu beziehen:

Die Grenzlehre von **Carl Mahr,**

Spezialfabrik für Präzisions-Meß-Werkzeuge, Eßlingen a. Neckar. Preis M. 10,—

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Zu kaufen gesucht:

Zeitschrift für Instrumentenkunde

Jahrgang 1900-1920

event. auch andere Reihen. — Gefl. Angebote erbeten an

O. FEHR, ST. GALLEN (SCHWEIZ)

Patentanwalt A. Kuhn Dipl. Ing. BERLIN W 9 Gitschinerstr. 106

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **Juli 1921.** Siebentes Heft.

Über zwei astronomische arabische Instrumente.

Von

Josef Frank in Erlangen.

1. Das umfassende Instrument al âla al schâmila.

Auf dies interessante Instrument hat bereits L. Am. Sédillot[1]) auf Grund der Angaben von Marâkuschî hingewiesen. Indes ist seine Beschreibung nicht vollständig und so wenig klar, daß man von der Konstruktion des Instrumentes keine Vorstellung erhält. Es dürfte daher eine eingehende Beschreibung nicht ohne Interesse sein, ebenso eine kurze Angabe über die Verwendung des Instrumentes. Die Beschreibung ist dem 5. Kapitel der anonymen arabischen Handschrift[2]): „Kurze Darstellung über die Herstellung einiger Beobachtungsinstrumente und deren Verwendung" entnommen.

Über die Geschichte dieses Instrumentes finden wir folgende interessante Angabe bei Ibn al Qiftî (S. 339) in der Biographie von Hibat Allâh b. al Husain al Badî' Abu'l Qâsim al Asturlâbî aus Bagdad († 1139, H. Suter Nr. 278): „Hierher gehört, was er an den allgemeinen Instrumenten (schâmil) ausführte, so daß sie, die vorher Fehler aufwiesen, vollkommen wurden. Chugendî († um 1000), ihr Erfinder, hatte sie für eine einzige Breite hergestellt und den wahren Beweis aufgestellt, daß sie nicht für eine Anzahl von Breiten gelten können. Als Hibat Allâh dies Instrument kennen lernte, sich eifrig damit beschäftigte, seinen ganzen Scharfsinn darauf richtete und eine Anzahl von ihnen herstellte, die er zu den Vornehmen seiner Zeit brachte, fand er einen Weg, durch den es möglich war, sie für eine Reihe von Breiten herzustellen. Eine Prüfung auf Grund der Geometrie ergab, daß diese fehlerlose Ergebnisse lieferte, und daß ihm das Licht (der Erkenntnis) für diesen Gegenstand sichtbar wurde, das anderen vorher verborgen war. Er paßte dieses Instrument allen Breiten an. Dabei gelangte er zu Ergebnissen, wie sie in dieser Kunst festgesetzt und bestimmt sind. Hierüber schrieb er eine Abhandlung (risâla), die hilft (mu' ajjida) durch die disjunktiven (qaṭ 'îja) Beweise, ferner über andere Dinge, mit denen er sich unter Verwendung von Lineal und Zirkel befaßte, und noch anderes. Dies kam aus den Schatzkammern der Edelsten in die Hände der Menschen."

Schon Chugendî schrieb eine Abhandlung „Über die Konstruktion und den Gebrauch des umfassenden Instrumentes". (Siehe H. Suter, Die Mathematiker und Astronomen der Araber Abhdl. z. Gesch. d. math. Wiss. X. Heft 45. 1900. Nr. 173.)

---

[1]) L. Am. Sédillot, *Mém. prés. p. div. sav. des inscriptions et belles-lettres, t. I. 148/49. 1844.*

[2]) Die Berliner Handschrift (Sprenger 1877, Ahlwardt 5857) enthält zum größten Teil Auszüge aus Marâkuschîs Werk. Die Überschrift des 5. Kapitels lautet: Über die Herstellung der schâmila (Ahlwardt liest statt „schâmila" das Wort „baschâta"). Die Handschrift ist sehr schlecht geschrieben. An einigen Stellen habe ich Ergänzungen vorgenommen, die sonstigen Angaben ähnlicher Instrumente entsprechen. Herrn Prof. Dr. Weil, Berlin, sei auch an dieser Stelle für die Überlassung der Handschrift bestens gedankt, ebenso Herrn Geheimrat Dr. Wiedemann, Erlangen, der mir seine Übersetzung in liebenswürdigster Weise überließ.

Das Instrument besteht im wesentlichen aus einer hohlen Halbkugel und einer Scheibe von der Größe eines ihrer Großkreise. Der in Grade geteilte Randkreis der Halbkugel stellt den Horizont dar. Auf ihrer inneren Fläche sind die Parallel- und Vertikalkreise zum Horizont gezeichnet. Die Halbkugel ist demnach als der unter dem Horizont befindliche Teil der Himmelssphäre mit dem Horizontkoordinatensystem aufzufassen. Die Scheibe ist in 360 Grade geteilt und dreht sich um den Mittelpunkt der Halbkugel wie die Ekliptikebene; dadurch wird die Umdrehung des Tierkreises dargestellt. Um die Scheibe für jede geographische Breite einstellen zu können, kann die mit ihr verbundene Achse in einem Schlitz der Halbkugel verstellt werden. Zu Messungen am Himmelsäquator ist mit der Scheibe ein Halbkreis in der entsprechenden Lage verbunden, der die eine Hälfte des Himmelsäquators vorstellt. Eine um den Mittelpunkt der Scheibe drehbare Alhidade gestattet die verschiedensten Winkelmessungen, sei es in der Ebene der Ekliptik für Längenbestimmungen, sei es in der Ebene des Himmelsäquators um Rektaszensionen zu finden usw. Dazu bringt man die Achse in die entsprechende Lage. Wird die Scheibe vertikal zum Horizont gestellt, so kann man Höhenmessungen ausführen. Doch erschwert im allgemeinen bei diesen Messungen das im Innern der Kugel befindliche Absehen das Anvisieren eines Sternes s. a. u. Dieser Übelstand läßt sich vermeiden, wenn man die Scheibe von der Achse löst und senkrecht aufhängt. Wohl nur dazu dient ein Loch am Rand der Scheibe beim 90. Grad der Teilung. Bei der Höhenmessung ist die Verwendung der Scheibe die gleiche wie die der Rückseite des Astrolabs. An dem Horizontkoordinatensystem kann man Höhe und Azimut des der Sonne gegenüberliegenden Punktes der Ekliptik ablesen, woraus man diese Koordinaten für die Sonne selbst erhält. Mit ihrer Hilfe kann man den Tierkreis auf der Scheibe in seiner augenblicklichen Lage auf der Himmelssphäre darstellen. Der Äquatorkreis ermöglicht die Zeitbestimmung. Bei manchen Instrumenten ist auf der Scheibe in einem Quadranten eine besondere Form der zeitlichen Stundenlinien gezeichnet. Wie R. Wolf[1] will ich diesen Quadranten „Sonnenquadrant“ nennen. Da ferner die Scheibe verschiedentlich das Schattenquadrat und den Sinusquadranten enthält, kann man damit die Schattenlänge für bestimmte Sonnenhöhen, den Sinus und natürlich auch die Kotangente für die verschiedenen Winkel ermitteln[2].

Die schâmila kann man also als eine Verbindung des Quadranten bzw. der Rückseite des Astrolabs mit der Himmelskugel auffassen. Sie leistet schon wegen der eben genannten Darstellungen das gleiche wie der Quadrant, hat aber ihm gegenüber den Vorteil, daß sie die räumliche Anschauung stärker unterstützt. Während man mit ihr unmittelbar nur Bestimmungen, die mit der Sonne in Beziehung stehen, ausführen kann, kann man auch solche in Verbindung mit Fixsternen beim Astrolab und der Himmelskugel durchführen; denn die Orte dieser oder wenigstens der wichtigsten von ihnen finden sich auf diesen Instrumenten verzeichnet. Mit der Himmelskugel läßt sich ferner die Bewegung der ganzen Himmelssphäre wiedergeben, bei der schâmila nur die vom Tierkreis und Äquator. Allerdings ist bei der schâmila das anschauliche Moment nicht zu übersehen. Während wir uns nämlich bei der Himmelskugel außerhalb der Himmelssphäre gestellt denken müssen, sehen wir bei der schâmila die Verhältnisse wie in der Wirklichkeit. Vom

[1]) R. Wolf, Handbuch der Astronomie, I. S. 433. 1890; vgl. auch J. Würschmidt, *Mitt. z. Gesch. d. Med. u. Naturw.* **18.** S. *183. 1919.*

[2]) Vgl. E. Wiedemann, Beiträge XVIII. 1909.

Mittelpunkt der Kugel aus beobachten wir, wie z. B. der Tierkreis an den Muquantaras und Azimutalkreisen, die wir auf der Innenfläche der Himmelskugel sehen, sich vorbeibewegt. Trotz allem aber können wir dem arabischen Schriftsteller nicht beipflichten, der die Anschauung ausspricht, daß sie das Astrolab und die Himmelskugel ganz vertreten kann. Daher heiße es das Umfassende (al schâmila).

Im folgenden sei das Instrument in seinen Einzelheiten beschrieben.

Die Halbkugel. Auf den Kreisrand einer hohlen Halbkugel von gleichmäßiger Krümmung und mäßiger Stärke ist ein Ring von quadratischem Querschnitt so aufgelötet, daß die eine Ringfläche mit dem Rand der Kugel abschneidet. Der Rand der Halbkugel ist in 360 Grade geteilt. Die Teilstriche sind auch auf der Ringfläche gezeichnet, auf der die zugehörigen Zahlen und zwar die Fünfer geschrieben sind. Der innere Rand der Halbkugel bildet den Horizontkreis; er wird in 4 Quadranten unterteilt. Die vier Himmelsrichtungen sind an den Endpunkten dieser 4 Quadranten bezeichnet. Zur Zeichnung der Azimutalkreise wird die oben genannte Scheibe verwendet. Ihr Durchmesser ist gleich dem inneren der Halbkugel. Die Scheibe wird so in die Kugel gelegt, daß ihre eine Seite durch zwei diametral gegenüberliegende Teilpunkte des Horizontkreises geht. Zieht man entlang der Scheibe eine Linie, so ist diese der durch die beiden Teilpunkte gehende Azimutalkreis. In dieser Weise sind sämtliche Azimutalkreise konstruiert. Ihr gemeinsamer Schnittpunkt ist der Zenit des Horizonts. Zur Zeichnung der Muquantaras wird einer der Azimutalkreise zwischen Zenit und Horizont in 90 Grade geteilt. (Diese Teilung könnte man bequem ausführen, wenn man den Umfang der Scheibe in Grade teilen und diese Teile auf den Azimutalkreis übertragen würde.) Die durch die einzelnen Grade auf dem geteilten Azimutalkreise gehenden Kreise mit dem gemeinsamen Mittelpunkt im Zenit sind die Muquantaras. In die Kugel wird ein Schlitz entlang des durch den Südpunkt gehenden Azimutalkreises gemacht. Der Spalt geht vom Zenit bis zum Rand der Kugel und ist so breit, als der Bogen von 3 Graden auf dem Horizontkreise lang ist. Längs eines jeden Randes dieses Spaltes wird ein Viertel eines Ringes von den Dimensionen des Horizontringes so auf die Kugel aufgelötet, daß die einander zugekehrten Flächen dieser Ringstücke die Spalträndер bilden. Die konvexe Fläche dieser Ringstücke wird in 90 Grade geteilt, die vom Rand der Kugel, dem Horizontkreis, aus gezählt werden. Die Teilstriche werden auch auf die einander abgekehrten Flächen der Ringstücke durchgezogen. Die beiden Ringstücke sind in der Mitte eines jeden dieser Teilstriche von der Seite her parallel zur Ebene des Horizontkreises durchbohrt.

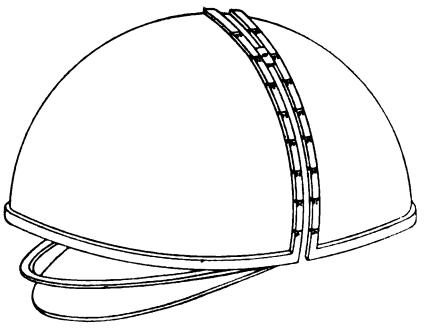


Fig. 1.

Scheibe. Auf der Scheibe wird in einem kleinen Abstand vom Rand ein dazu paralleler Kreis gezogen. Er wird in 360 Grade geteilt. Diese werden, da der Kreis den Tierkreis darstellt, zu je 30 geordnet und gezählt. Bei manchen Instrumenten wird die Scheibe durch zwei zueinander senkrechte Durchmesser, einen vertikalen und einen horizontalen, der wohl wie bei der ganz ähnlichen Zeichnung auf der Rückseite des Astrolabs durch den Widderanfang geht, in vier Quadranten geteilt. In dem einen Quadranten, meist dem linken oberen, werden die Sinus-

und Kosinuslinien gezogen; der Bogen dieses Quadranten wird zur Messung von Sonnenhöhen bestimmt. Deshalb heißt dieser Quadrant „Höhenquadrant". In dem diesen gegenüberliegenden wird das Quadrat der beiden Schatten gezeichnet. (Vgl. E. Wiedemann, Beiträge XVII.). In dem zwischen diesen beiden gelegenen Quadranten werden die 6 Stundenlinien des „Sonnenquadranten" gezogen. (In dem 4. Quadranten ist vielleicht wie bei vielen Astrolabien ein zweites Schattenquadrat gezeichnet, dessen Seiten in Füße, während die des ersteren in Finger unterteilt sind.) Auf dem vertikalen Durchmesser ist nahe am Rand der Scheibe ein Loch gebohrt zum Aufhängen der Scheibe bei Höhenmessungen. Man muß annehmen, daß dieses sich zwischen Rand und „Tierkreis" befindet, da es bei jeder anderen Lage die Bewegung der Alhidade beim Nehmen der Höhe hindern könnte.

Alhidade. Zum Instrument gehört wie zum Astrolab eine Alhidade mit zwei Absehen. Sie wird auf eine durch den Mittelpunkt der Scheibe gehende Achse aufgesetzt und dreht sich auf ihr.

Achse. Da die Scheibe den Tierkreis trägt, muß sie in jede Lage der Ekliptik gebracht werden können, andrerseits muß ihr Mittelpunkt mit dem der Halbkugel zusammenfallen. Dies wird erreicht, indem die Scheibe mit einer Säule von besonderer Form, der Achse, verbunden ist, deren Mittellinie in Richtung der Weltachse fällt, und die sich um diese in einem Lager dreht. Dieses ist eine Durchbohrung in einem Klotz, einem Ringstück, dessen konkave Seite wie die Kugel, und dessen konvexe Seite wie die konvexen Seiten der Verstärkungsstücke auf den Spalträndern gekrümmt sind. Dieser Klotz ist so breit, daß er in den Spalt genau hineinpaßt, und so dick, daß seine konkave Seite mit der inneren Fläche der Halbkugel zusammenfällt. Die Durchbohrung ist senkrecht zu den gekrümmten Flächen. Der Klotz ist ferner noch mit zwei Durchbohrungen versehen, die senkrecht zu seinen Parallelflächen verlaufen. Er wird in den Spalt so eingesetzt, daß die letzteren Durchbohrungen auf die gleich weiten in den Verstärkungsstücken passen, durch die Stifte von außen hineingeschoben werden; dadurch wird der Klotz im Spalt festgehalten. Da die Achse für die verschiedenen Breiten in die jeweilige Richtung der Weltachse gebracht werden soll, muß die Mittellinie des Achsenlagers durch den betreffenden Grad der Breite, wenigstens durch den ganzzahligen, hindurchgehen. Man muß deshalb annehmen, daß die Löcher für die Stifte um den gegenseitigen Abstand je dreier Löcher auf den Verstärkungsstücken voneinander entfernt sind. Ist also a die Zahl der Grade der Breite, so muß die eine Durchbohrung mit der im $(a+1)$-ten und die andere mit der im $(a-1)$-ten Grad auf den Verstärkungsstücken übereinstimmen. An der Achse selbst können wir drei Hauptteile unterscheiden. Der zylinderförmige Teil js (Fig. 2) ist so bemessen, daß er in das Loch im Klotz hineinpaßt und in ihm leicht gedreht werden kann. js ist mit einem viereckigen Schlitz versehen, der bei j beginnt und etwas länger als der Klotz dick ist. Ist die Achse in den Klotz eingesetzt, so wird in den darüber hinausragenden Schlitz ein Stift gesteckt, der die Achse hält. Die kreisförmig begrenzte Fläche hjt hat dieselbe Krümmung wie die Halbkugel. Sie ist also eine Kugelhaube, die sich der konkaven Oberfläche der Kugel anschmiegt, wenn die Achse in ihrem Lager sitzt. Dadurch wird ein Wackeln der Achse bei der Drehung vermieden. Während js der Richtung der Weltachse entspricht, muß das zylindrische

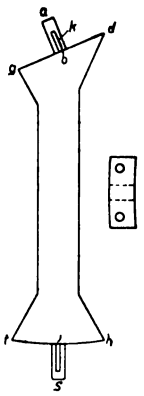


Fig. 2.

Stück *ab* gegen *js* um ε^0 geneigt sein. Es steht senkrecht zur Kreisfläche *gd*, die gegen die Mittellinieder Achse um $90—\varepsilon^0$ geneigt ist. Über *ab* wird die Scheibe geschoben und so auf die Kreisfläche *gd* gelegt, daß die Verbindungslinie des Anfangs vom Krebs und des vom Steinbock mit dem Kreisdurchmesser *gd* zusammenfällt, wie dieses die räumliche Lage der Ekliptik erfordert. In dieser Lage wird die Scheibe mit der Kreisfläche verbunden, so daß mit ihr die Säule mitbewegt wird, wodurch die Drehung der Ekliptik im Raume dargestellt werden kann. Die Art der Verbindung ist in der Handschrift nicht angegeben, doch muß man eine derartige annehmen, die eine Abnahme der Scheibe zur Höhenmessung gestattet. Durch einen auf der Kreisfläche errichteten Bolzen, der in ein Loch auf der Rückfläche der Scheibe eingreift, kann dies erreicht werden. *ab* ist zugleich die Drehungsachse für die auf der Scheibe sich drehende Alhidade und ist mit einem viereckigen Schlitz versehen, der bei *b* beginnt. Er ist so lang, daß, wenn Scheibe und Alhidade auf *ab* gesetzt werden, durch den darüber hinausgehenden Schlitz noch ein Splint gesteckt werden kann. Dieser hält beide auf der Fläche *gd* fest. Das Mittelstück *gdht* dürfte die Form der Figur 2 haben. Die Länge der Achse muß so bemessen sein, daß der Abstand *kj* gleich dem Radius der Halbkugel ist, damit die Oberfläche der Scheibe, auf der sich ja der Tierkreis befindet, um den Mittelpunkt der Halbkugel sich dreht.

Äquatorring. Der den Äquator darstellende Halbkreis ist mit der unteren Seite der Scheibe fest verlötet und zwar so, daß er auf dem durch den Anfang von Widder und Wage gehenden Durchmesser aufsitzt. Er liegt unterhalb des Halbkreises mit den nördlichen Tierkreiszeichen und ist um den Betrag der Ekliptikschiefe $= \varepsilon^0$ gegen die Scheibe geneigt. Der Halbkreis ist in 180 Grade geteilt. Der Nullpunkt fällt beim Widderanfang auf die Oberfläche der Scheibe. Dieser Äquatorkreis kann nicht eine massive Halbscheibe sein; denn in seiner Mitte muß ein freier Raum für die Achse sein. Er kann auch nicht die bei Sédillot gegebene Gestalt eines breiten Ringes haben, da er die Scheibe, wenn sie vertikal aufgehängt wird, aus der vertikalen Stellung allzusehr herausdrehen würde. Deshalb kann er nur ein schmaler Ring sein.

Entsprechend der Verbindung des Äquatorringes mit der Scheibe bewegt sich dieser in der Ebene des Himmeläquators, während der Tierkreis auf der Scheibe immer die entsprechende Lage einnimmt. Scheibe und Ring führen also dieselbe Bewegung wie die Ebenen der Ekliptik und des Äquators auf einer Kugel aus, die sich um die Weltachse dreht. Die Verwendung des Instrumentes stimmt also im wesentlichen mit der Himmelskugel überein.

Wahrscheinlich wurde das Instrument auf ein Gestell gesetzt.

Anwendung des Instrumentes. Während sich bei Sédillot keinerlei Angaben über die Art und Weise der Verwendung des Instrumentes finden, ist in der benutzten Handschrift die Lösung wenigstens eines Problemes besprochen, nämlich die der Bestimmung des „Grades der Sonne", d. h. des Punktes der Ekliptik, in dem die Sonne gerade steht. Dazu dreht man die Achse, bzw. die Scheibe bis ihre Vorderfläche und Rückfläche im Schatten liegen, d. h. die Sonnenstrahlen parallel zu diesen Flächen verlaufen. Bei dieser Lage der Scheibe dreht man die Alhidade, bis die der Sonne zugekehrte Absehe die andere vollständig beschattet. Die Alhidade weist dann auf die Sonne hin. Der Punkt der Ekliptik, in dem der Zeiger der Alhidade oder die durch ihren Drehpunkt gehende Kante (linea fiduciae) sie schneidet,

ist der gesuchte Sonnengrad. Denn die Scheibe und damit der auf ihr gezeichnete Tierkreis nimmt die der augenblicklichen Stellung entsprechende Lage ein und die Linea fiduciae ist die Verbindungslinie Sonne-Weltmittelpunkt.

Durch diese Stellung der Scheibe ist aber die Lösung noch einer Reihe anderer Aufgaben ermöglicht, so der Ermittlung der Höhe der Sonne, ihres Azimuts und der vier Pflöcke: des Aszendens, des Kulminierenden usw. und schließlich der Bestimmung der seit Sonnenaufgang verflossenen zeitlichen und gleichförmigen Stunden. Da die Sonne um denselben Betrag über dem Horizont steht, um dem sich der ihr gegenüberliegende Punkt der Ekliptik der „Gegengrad" unter dem Horizont befindet, kann man die Sonnenhöhe finden. Man ermittelt, auf welche Muquantara der Depression der Gegengrad auf dem Tierkreis der Scheibe fällt. Die Ordnungszahl dieser Muquantara gibt die Sonnenhöhe; die des Azimutalkreises, mit dem der Sonnengrad zusammenfällt, das Azimut. Die Araber zählten das Azimut gewöhnlich vom Ost- und Westpunkt aus. Es ist noch zu beachten, daß die Sonne, wenn ihr Gegengrad ein Azimut z. B. zwischen West- und Nordpunkt hat, in einem zwischen Ost- und Südpunkt gelegenen Azimutalkreis sich befindet, also in dem diametral gegenüberliegenden Quadranten. Der Aszendens ist der Punkt des Tierkreises, der in seinem Schnittpunkt mit dem Horizont auf der Ostseite liegt, der mit dem Azimutalkreis durch den Südpunkt zusammenfallende Punkt ist der Pflock der Erde. Die von diesen um 180^0 abstehenden Punkte des Tierkreises sind die zwei anderen Pflöcke.

Ist umgekehrt der Sonnengrad bekannt und kennt man ihre Höhe, ihr Azimut oder einen der vier Pflöcke, so kann man die Scheibe in die augenblickliche Lage einstellen, indem man den Gegengrad auf die der Höhe entsprechende Muquantara der Depression usw. legt.

Daß der Äquatorkreis des Instrumentes zum Messen von Tag- und Nachtbogen dient, darauf weist der arabische Verfasser auch hin, ohne aber näher darauf einzugehen. Zu ihrer Bestimmung legt man den Sonnengrad auf den Ostteil des Horizonts und liest den Grad a des Äquators ab, der bei dieser Lage der Scheibe auf den Ostteil des Horizonts fällt. Dann dreht man die Scheibe über den Südpunkt, bis der Sonnengrad auf den Westhorizont fällt, und liest wieder den Grad b des Äquators ab, der auf dem Osthorizont fällt. $a—b$ ist der gesuchte Tagbogen. Dabei kann der Fall eintreten, daß der Schnittpunkt des Äquators mit der Scheibe den Osthorizont erreicht, bevor der Sonnengrad auf den Westhorizont trifft. Bis dahin haben a Grad des Äquators über dem Horizont sich erhoben. Um den noch fehlenden Äquatorbogen zu messen, bestimmt man am Westhorizont den Äquatorbogen b, der sich von da ab unter den Horizont senkt, bis der Sonnengrad den Westhorizont erreicht. $a + b$ ist in diesem Fall der Tagbogen. Steht die Sonne in einem der südlichen Tierkreiszeichen, so wird der halbe Äquatorbogen den Osthorizont noch nicht schneiden, wenn der Sonnengrad eben aufgeht. In diesem Fall ist bei der Ablesung Ost- und Westhorizont zu vertauschen. Zieht man den Tagbogen T von 360^0 ab, so erhält man den Nachtbogen N, den man natürlich auch direkt hätte bestimmen können. $T/15$ ist die Dauer des Tages in gleichförmigen Stunden, $N/15$ die der Nacht. $T/12$ und $N/12$ ist die Länge einer zeitlichen Tag- bzw. Nachtstunde in Grade ausgedrückt. Zur Bestimmung der seit Sonnenaufgang verflossenen Stunden stellt man in der angegebenen Weise die Scheibe ein und liest den Grad c des Äquatorkreises ab, der im Horizontkreis liegt. Dann dreht man die Scheibe bis der Sonnengrad auf den Osthorizont fällt und liest wiederum den Schnittpunkt d des Äquators mit dem Osthorizont ab. $(c-d) \cdot 12/T$ sind die seit Sonnenaufgang verflossenen zeitlichen und $(c—d)/15$

die entsprechenden gleichförmigen Stunden. Auch hier wird der Fall eintreten, daß der Äquatorbogen $(c-d)$ sich aus zwei Bögen wie im vorhergehenden Problem zusammensetzt.

Über die Stundenbestimmung mit dem Sonnenquadranten sei auf die später erscheinende Arbeit in der „Geschichte der Zeitmessung und der Uhren", herausgegeben von Herrn Professor Dr. Bassermann-Jordan, verwiesen.

Um die Scheibe aus der Ekliptikebene in die des Äquators zu bringen, muß man das Lager der Achse, das im ersten Fall auf die geographische Breite φ des Beobachtungsortes eingestellt wird, um den Betrag der Ekliptikschiefe verschieben, also auf $(\varphi + \varepsilon)^0 \leqq 90$ einstellen. Um sie senkrecht zum Horizont zu stellen, stellt man das Lager auf ε^0 ein, der Äquatorkreis weicht von der Vertikalebene um ε^0 ab, die Scheibe fällt mit ihr zusammen. Nur die horizontale Lage kann man der Scheibe nicht geben, da das Lager auf $90 + \varepsilon^0$ zu stellen wäre, was nicht möglich ist. Ist das Lager im 90. Grad, so ist die Scheibe um ε^0 gegen den Randkreis der Halbkugel geneigt. Von da ab kann man ihr alle Lagen bis zu 90^0 und darüber hinaus geben.

Es ist vielleicht verwunderlich, daß die Scheibe nicht den Äquator sondern den Tierkreis enthält, wodurch die besondere Form der Achse bedingt ist. Der Grund dürfte vielleicht darin liegen, daß dem Erfinder daran gelegen ist, gerade den ganzen Tierkreis abzubilden, um die verschiedenen Stellungen der Sonne in ihm unmittelbar verfolgen zu können.

2. Das Instrument mit dem Dreieck.

In einem rechtwinkligen Dreieck aus Holz oder anderem Material ist um den Halbierungspunkt A der Hypotenuse ein Halbkreis gezogen, der die Katheten berührt und in 180 Grade geteilt ist. Auf der Hypotenuse sind an ihren Enden zwei senkrechte Klötze angebracht, die zum Avisieren dienen. Das Dreieck ist mittels eines Gelenkes, das im Scheitelpunkt des rechten Winkels befestigt ist, mit einer Basis, einer rechteckigen Platte, verbunden. Die Vorderseite dieser Basis ist geteilt; jeder Teil ist gleich dem sechzigsten Teil der Höhe des Dreiecks. Das Instrument ist im Grund genommen ein Doppelquadrant und dient vornehmlich zum Messen von Winkelgrößen. Doch leistet es in gewisser Hinsicht mehr als dieser.

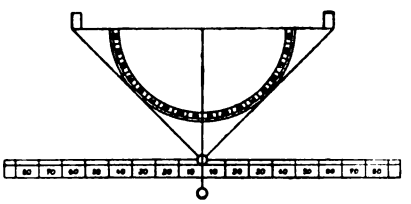


Fig. 8.

Bei ihm kann man unmittelbar nur den Winkel messen den ein Sehstrahl mit der Horizontalen bildet, während man mit dem Dreiecksinstrument einen vertikalen Winkel darstellen kann, wenn auch die Horizontale im Winkelraum liegt. An der Teilung der Basis kann man mit Hilfe des im Kreismittelpunkt angebrachten Lotes den Sinus eines jeden Winkels messen. Die Beschreibung dieses Instrumentes nebst einer kurzen Anwendung findet sich im 19. Kapitel der vorerwähnten Handschrift. Nach den Angaben am Schluß derselben rührt das Instrument von einem Châzinî her. Zur Ergänzung der obigen Angaben sei bemerkt, daß der Radius des Halbkreises zu 42 Teilen angegeben ist. In der Tat ist die Länge der von A auf die Kathete gefällten Senkrechten, die gleich dem Radius ist, gleich $60 \times \sin 45^0 = 42{,}4$. Zur Zeichnung der Teilstriche für die Gradteilung ist um A ein zweiter Halbkreis mit einem Radius von 41 und ein dritter mit einem solchen von 38 Teilen gezogen. In dem Raum zwischen den beiden ersten Kreisen sind die Teilstriche, in dem zwischen dem zweiten und dritten die

Fünferstriche und die zugehörigen Zahlen eingezeichnet. Jeder Quadrant ist für sich gezählt; der 90. Grad liegt auf der Hypotenuse. Die Basis hat die doppelte Länge einer Kathete und ist dementsprechend in 2×85 Teile geteilt. Das Gelenk sitzt im Halbierungspunkt der Basis. Wenn man das Dreieck um das Gelenk gegen die Basis zu dreht, so wird bei der Berührung die Kathete in ihrer ganzen Länge aufliegen. Man muß annehmen, daß die mit dem Halbkreis versehene Fläche des Dreiecks mit der geteilten Vorderfläche der Basis in einer Ebene liegen, schon damit das Lot sich vertikal einstellen und über die Teilung der Basis spielen kann.

Soweit aus der Handschrift hervorgeht, dienen die beiden Klötze nur zur Bestimmung der Richtung der Sonnenstrahlen, die man erhält, wenn man die Hypotenuse so lange dreht, bis der Schatten des einen Klotzes den anderen genau bedeckt. Das Lot gibt die Sonnenhöhe an dem geteilten Halbkreis unmittelbar an. Zum Anvisieren von Sternen und Gegenständen auf der Erde dienen die Dreiecksseiten und die Basis, denen entlang man blickt. Zur Bestimmung des Gesichtswinkels, in dem ein Gegenstand uns erscheint, findet sich in der Handschrift folgende Anleitung: Man stellt das Instrument auf einen Schemel auf die Erde und visiert mit der Fläche der Basis den Fußpunkt des Gegenstandes an. Diese Visierlinie wird „Fläche der Erde“ genannt. Die Höhe des Dreiecks soll dabei zur Basis senkrecht stehen (Normalstellung). Das Lot gestattet den Winkel α abzulesen, den die Visierlinie mit der Horizontalen bildet. Schneidet das Lot den beim Auge liegenden Quadranten, so liegt der Fußpunkt über dem Horizont, schneidet es den anderen, so liegt der Fußpunkt unter dem Horizont. Der Winkel α heißt Ausgleich (ta^c dîl); dieser ist im ersten Fall zunehmend, d. h. positiv, im zweiten abnehmend, d. h. negativ. Sodann wird die Spitze des Gegenstandes längs der Hypotenuse anvisiert, wobei das Dreieck bei fester Basis entsprechend gedreht werden muß. Die Stellung des Lotes gibt den Winkel der neuen Visierlinie mit der Horizontalen $= \beta$. Die Oberfläche der Basis und die Hypotenuse schließen den gesuchten Gesichtswinkel ein. Dieser ist $\pm \beta - \pm \alpha$, wobei für β die Vorzeichenregel wie für α gilt. Auf diese Differenz wird das Lot bei Normalstellung des Instrumentes am geteilten Kreis eingestellt. An der Teilung der Basis schneidet es den zugehörigen Sinus ab, der „Teile der Basis“ heißt.

Zur Messung von Sternhöhen muß die Basis zunächst genau horizontiert werden. Die horizontale Lage kann mit dem Instrument selbst nachgeprüft werden. Man legt die beiden Katheten auf die Basis; bei horizontaler Einstellung derselben muß das Lot durch den 45. Grad des einen bzw. des anderen Quadranten gehen. Handelt es sich um Sternhöhen, die kleiner oder gleich 45 Grad sind, so kann man längst der Hypotenuse den Stern anvisieren, bei größeren Höhen muß man dagegen längs einer der Katheten blicken, da die Hypotenuse nur um 45 Grad gegen den Horizont geneigt werden kann. Das Anvisieren längs der Katheten wird erleichtert, wenn man die obige Annahme über die Koinzidenz der Vorderflächen des Dreiecks und der Basis macht. Natürlich könnte man das Dreieck allein ohne Rücksicht auf die horizontale Stellung der Basis wie einen Quadranten benutzen.

Die Belichtungsvorgänge und das Auflösungsvermögen beim Hochfrequenz-Kinematographen.

Von
Dr. A. Klughardt, in Dresden.

In *dieser Zeitschrift 39. S. 145. 1919* habe ich die Belichtungsvorgänge und die Auflösung von Bewegungen bei den normalen kinematographischen Aufnahmeapparaten mathematisch formuliert. Als Kriterium für das „Auflösungsvermögen" wurde dort der „Auflösungsfaktor" μ abgeleitet, der gemäß der Gl. 7) u. ff. auf Seite 149 gleich

$$\mu = \frac{U n \cdot (1 + P)}{f} \qquad 1)$$

ist, wo

U = der zulässigen photographischen Unschärfe auf dem Film ($U = 0{,}1$ mm),

n = der Bildfrequenz in einer Sekunde,

P = dem „Zeitquotient", d. h. der Verhältniszahl zwischen der Dunkelpause t und der Belichtungszeit T bei der Filmbewegung $\left(P = \frac{t}{T}\right)$,

f = der Brennweite des Aufnahmeobjektives ist.

Aus dieser Gleichung läßt sich theoretisch folgern, daß μ und damit das Auflösungsvermögen der normalen Aufnahme-Apparate wachsen, wenn die Bildfrequenz n und der Zeitquotient P erhöht werden, oder wenn man die Brennweite f verkürzt. Eine Verringerung der Brennweite verbietet sich in der Praxis von selbst, weil dieselbe ungünstig auf die Deutlichkeit der Filmbilder einwirken würde. Ferner ist es nicht ratsam, den Zeitquotienten P zu vergrößern; denn dies ist nur mit Hilfe der Verlängerung der Dunkelpausen möglich, wodurch die „Spurlücken" auf dem Film zu groß werden, was seinerseits zur Folge hat, daß der aufgenommene Bewegungsvorgang sich bei der Wiedergabe nicht mehr naturgetreu, sondern zeitlich verzerrt abspielt.

Um also eine Erhöhung des Auflösungsvermögens zu erreichen, bliebe nur noch die Vergrößerung der Bildfrequenz n. Aber auch dieser ist bei dem System der normalen kinematographischen Aufnahmeapparate mit ruckweisem Filmtransport eine recht enge Grenze gesetzt. Das Material der Filme ist in Bezug auf seine Festigkeit einer so hohen Anzahl von Beschleunigungen und Hemmungen nicht gewachsen, wie sie der ruckweise Filmtransport mit sich bringt. Die höchst zulässige Bildfrequenz übersteigt den bereits allgemein gebräuchlichen Wert von 16 bis 20 sekundlichen Einzelbildern nicht wesentlich. Die Normalkinematographie ist eben auf dem Höhepunkt der ihrem System möglichen Leistungsfähigkeit angelangt.

Es gibt aber doch ein Mittel, diese Schranke zu durchbrechen. Die Bildfrequenz läßt sich beträchtlich vergrößern, wenn man vom ruckweisen Filmtransport zu Apparaten mit stetig bewegtem Filmbande übergeht. Hierbei kann die nunmehr gleichförmige Bewegungsgeschwindigkeit des Filmes außerordentlich gesteigert werden, ohne doch unmögliche Anforderungen an die Festigkeit des Filmes zu stellen.

Um aber auf einem kontinuierlich bewegten Film scharfe Abbildungen zu erhalten, ist es notwendig, die bei der Bilderzeugung beteiligten Lichtstrahlen stationär zu machen, was mit Hilfe optischer Ausgleichselemente möglich ist.

Derartige Apparate mit kontinuierlich laufendem Filmband und optischem Bildausgleich sind dem Prinzip nach bereits in großer Anzahl und seit längerer Zeit bekannt[1]). Ein wirklich brauchbarer Aufnahme-Apparat, der auf diesem System beruht, ist jedoch erst vor kurzem von den Ernemann-Werken A. G., Dresden, geschaffen worden. Der Bildausgleich wird hierbei durch rotierende Spiegeltrommeln erreicht[2]). Unter Hinweis auf untenstehende Literaturangaben erübrigt sich eine genaue Beschreibung.

Hier möge nur angeführt werden, daß mit diesem Apparat Bildfrequenzen bis zu 400, ja sogar 500 sekundlichen Einzelbildern hergestellt werden können. Wegen dieser hohen Bildfrequenzen heißt derselbe auch Hochfrequenzkinematograph[3]), und er führt den Beinamen „Zeitlupe", weil man bei der Fixierung von Bewegungsphasen mit seiner Hilfe sozusagen die Zeit unter die Lupe nimmt. Das Auflösungsvermögen dieses Apparates ist so außerordentlich gesteigert, daß man damit selbst schnellste Bewegungen, wie z. B. den Flug abgefeuerter Artilleriegeschosse analysieren kann, was mit dem Normalkino unmöglich ist. Durch die Hochfrequenzkinematographie ist ein großer Teil von Bewegungserscheinungen in der Natur, welche sich bisher der Beobachtung infolge ihrer großen Geschwindigkeiten entzogen haben, dem Studium neu erschlossen worden, was für alle Untersuchungen auf wissenschaftlichen und technischen Gebieten von großer Bedeutung ist.

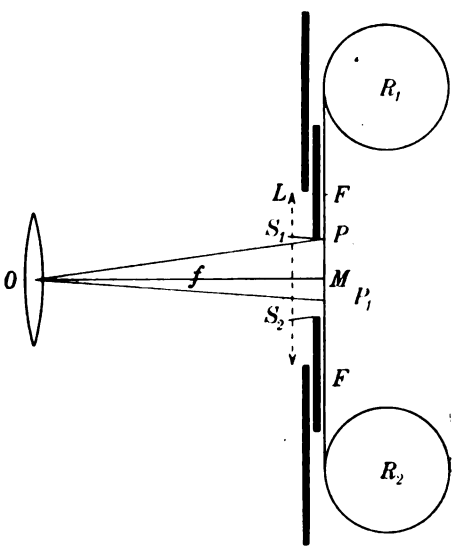


Fig. 1.

Im folgenden soll nunmehr das Auflösungsvermögen des Hochfrequenzkinematographen „Zeitlupe" abgeleitet werden. Zu diesem Zweck müssen aber zuvor die Belichtungsverhältnisse des stetig bewegten Filmes behandelt und mathematisch formuliert werden. Denn diese stellen sich hier ganz anders dar, als bei dem Normalkinematographen.

In Fig. 1 sind das Filmfenster der Zeitlupe und die damit in Verbindung stehenden Elemente schematisch gezeichnet. Der Film F läuft von der Rolle R_1 auf die Rolle R_2. Ungefähr in der Mitte dieser Bahn befindet sich das Filmfenster L, das seiner Höhe nach durch die beiden Schieber S_1 und S_2 symmetrisch zur optischen Achse OM des Aufnahmeobjektives erweitert oder verengt werden kann. Das Aufnahmeobjektiv steht bei O, wobei die Entfernung OM desselben von der Mitte M des Filmfensters gleich seiner Brennweite f ist. Durch den optischen Bildausgleich wird bewirkt, daß ein Hauptstrahl OP, der vom Objektiv ausgehend auf den Filmpunkt P auftrifft, wenn dieser bei S_1 in das Filmfenster eintritt, während des Durchganges dieses Punktes durch das Fenster seine Neigung zur optischen Axe so ändert, daß er immer auf den Punkt P zielt. Hat sich beispielsweise der Filmpunkt P nach

[1]) Vgl. C. Forch, *Der Kinematograph, S. 96ff. Leipzig 1913.*

[2]) H. Lehmann, Über neue kinematographische Theorien und Apparate, *Photogr. Korresp. Juli 1916.*

[3]) A. Klughardt, Der Hochfrequenzkinematograph *„Zeitlupe" in Centralztg. f. Opt. u. Mech. 1919.*

P_1 bewegt, so ist der Hauptstrahl aus seiner ersten Richtung OP in die Richtung OP_1 nachgefolgt. Diese Bedingung ist in Wirklichkeit nur angenähert erfüllt. Im Prinzip des optischen Ausgleiches durch eine Spiegeltrommel ist es begründet, daß der bewegte Filmpunkt und der Durchstoßungspunkt des zugeordneten Hauptstrahles mit dem Film nicht ständig zusammenfallen, sondern daß sie kleine Verschiebungen gegeneinander ausführen, deren Größen sich berechnen lassen und die als kleine Unschärfen im Filmbild auftreten. Diese Verschiebungen sind aber, besonders bei Anwendung enger Schlitzbreiten, so gering, daß sie in vielen Fällen unbeachtet gelassen werden können. Deshalb sollen sie im Folgenden überhaupt vernachlässigt werden. Bei den Berechnungen soll also die Erfüllung des optischen Ausgleiches als über die ganze Ausdehnung des Filmfensters streng gültig vorausgesetzt werden. Bis zu welchem Grade diese Annahme berechtigt ist, wird eine spätere Abhandlung über den optischen Ausgleich in der Zeitlupe darlegen. Die jeweilige Breite des durch die Schieber S_1 und S_2 gebildeten Filmfensterschlitzes ist von bestimmendem Einfluß auf die Belichtungszeiten bei der Aufnahme. Diese Schlitzblende wirkt genau so wie ein Schlitzverschluß bei den photographischen Kameras, sie ist die kinematische Umkehrung desselben. Während sich nämlich bei der photographischen Kamera bei feststehender Platte der Schlitz bewegt, steht hier der Schlitz fest und der Film bewegt sich.

Die Belichtungszeit eines bestimmten Filmpunktes ist abhängig von der Schlitzbreite und der Geschwindigkeit des Filmes selbst, welch letztere sich aus der Bildfrequenz n und der Höhe h eines einzelnen Filmbildes berechnen läßt. Läuft der Film gleichförmig so ab, daß in einer Sekunde n Bilder von der Höhe h erzeugt werden, so ist die Filmgeschwindigkeit

$$v = n \cdot h, \qquad 2)$$

wobei h in der Praxis gleich 19 mm ist. Bei einer Bildfrequenz $n = 400$ ist also die Filmgeschwindigkeit $v = 400 \cdot 19 = 7600$ mm/sec. $= 7{,}6$ m/sec eine recht beträchtliche Filmgeschwindigkeit, deren Anforderungen aber die Festigkeit des Filmbandes gewachsen ist, sodaß für Hochfrequenzaufnahmen normaler Kinofilm verwendet werden kann.

Setzt man die Schlitzbreite gleich b, so kann die Belichtungszeit eines einzelnen Filmpunktes (die Einzelbelichtungszeit T) einfach bestimmt werden; sie ist ja nichts anderes als die Zeit, in welcher der Filmpunkt die Strecke b mit der Geschwindigkeit $v = n \cdot h$ zurücklegt.

$$T = \frac{b}{n \cdot h} \qquad 3)$$

Man kann hierbei der Abkürzung wegen das Verhältnis $\frac{h}{b} = m$ setzen und erhält

$$T = \frac{1}{n \cdot m}. \qquad 3a)$$

Von dieser Einzelbelichtungszeit T ist die Gesamtbelichtungszeit Z wohl zu unterscheiden, die den Zeitverlauf zwischen dem Beginn und dem Ende der Belichtung eines ganzen Filmbildes darstellt. Die Einzelbelichtungszeit T ist sozusagen nur ein Unterteil der Gesamtbelichtungszeit. Um die Gesamtbelichtungszeit Z zu berechnen, beobachtet man am besten die Bewegung und Belichtung der Filmbildanfangslinie A und der Filmbildendlinie E in Fig. 2. Die Gesamtbelichtungszeit Z ist die Zeit, die zwischen dem Eintritt von A in den Schlitz bei S_1 und dem Austritt von E aus

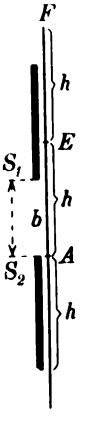


Fig. 2.

dem Schlitz bei S_2 vergeht, während dieser Zeit legte ein Punkt auf der Filmlinie A unbedingt den Weg $b+h$ zurück und zwar mit der Geschwindigkeit v; es folgt demnach für Z

$$Z=\frac{b+h}{n\cdot h}=\frac{m+1}{m}\cdot\frac{1}{n}, \text{ oder} \tag{4}$$

$$Z=(m+1)\cdot T. \tag{4a}$$

Zwischen den Gesamtbelichtungszeiten aufeinanderfolgender Filmbilder können keine Dunkelpausen auftreten, sondern sie überlagern sich sogar, d. h. die Gesamtbelichtung eines Filmbildes setzt bereits ein, ehe noch die Gesamtbelichtung des vorhergehenden beendet ist.

Dunkelpausen können dagegen die Einzelbelichtungszeiten T entsprechender Punkte in aufeinanderfolgenden Filmbildern voneinander trennen. Diese Dunkelpausen entsprechen den Zeiten, welche zwischen dem Zeitpunkt, in welchem A (Fig. 2) durch S_2 geht, und dem Zeitpunkt, wo E den Punkt S_1 passiert, vergehen. Denn A und E sind sich entsprechende Filmpunkte, da E nicht nur das Ende des einen, sondern auch der Anfang des darauffolgenden Filmbildes ist. Daraus folgt für die Dunkelpausen t zwischen den Einzelbelichtungszeiten

$$t=\frac{h-b}{n\cdot h}=\frac{m-1}{m}\cdot\frac{1}{n}, \text{ oder} \tag{5}$$

$$t=(m-1)T. \tag{5a}$$

In dieser Gl. 5a) spielt die Größe des Wertes $m=\frac{h}{b}$ eine bestimmende Rolle für die Dauer der Dunkelpause t. In dem Falle $m=1$, d. h. für $h=b$, wird t gleich Null. Das bedeutet nichts anderes, als daß bei der Filmbelichtung keine Dunkelpausen eintreten, wenn die Schlitzbreite b gleich der Höhe h eines einzelnen Filmbildes gewählt wird. Der Fall $h<b$ hat keine praktische Bedeutung, kann also unberücksichtigt bleiben.

In Analogie zur Normalkinematographie läßt sich der Zeitquotient P, d. i. die Verhältniszahl von Dunkelpause t zur Einzelbelichtungszeit T, auch für den Hochfrequenzkinematographen bilden, nämlich

$$P=\frac{t}{T}=\frac{m-1}{m\cdot n}\cdot(m\cdot n)=m-1. \tag{6}$$

Unter Berücksichtigung des Dunkelsektors β und des Hellsektors α in der Flügelblende des Normalkinematographen war der Zeitquotient bei der Normalkinematographie gefunden

$$P_{\text{norm}}=\frac{\beta}{\alpha}=\frac{360^0-\alpha}{\alpha}=\frac{360^0}{\alpha}-1; \tag{6a}$$

beim Hochfrequenzkinematographen ergibt sich der Zeitquotient ausgedrückt durch Bildhöhe und Schlitzbreite

$$P_{\text{hfr.}}=\frac{h-b}{b}=\frac{h}{b}-1. \tag{6b}$$

Addiert man die Belichtungszeit T und die Dunkelpause t beim Hochfrequenzkinematographen, so erhält man

$$T+t=\frac{1}{n\cdot m}+\frac{m-1}{n\cdot m}=\frac{1}{n}=\tau, \tag{7}$$

wobei $\tau = 1/n$ die „Bildfolgezeit" heißen soll. Und es ergibt sich endlich

$$T = \frac{1}{n(1+P)}, \qquad 8)$$

eine Gleichung, welche die gleiche Form hat, wie die entsprechende für die Normalkinematographie. Es ist darin nur die Verschiedenheit in der Berechnung der Zeitquotienten zu beachten, die durch die Gleichung 6a) und 6b) gezeigt ist.

Die Belichtungsverhältnisse beim Hochfrequenzkinematographen sollen nun für einige typische Fälle auch graphisch dargestellt werden. Dabei muß man zwischen Einzelbelichtungszeiten und Gesamtbelichtungszeiten unterscheiden. Um die Verhältnisse deutlich zu machen, ist es am besten, die Vorgänge für die einzelnen Filmbilder unter Berücksichtigung der zeitlichen Verschiebungen gemäß der Bildfolgezeiten τ getrennt unter einander wiederzugeben. Dabei sollen die Fälle $m = 1$ und $m > 1$ behandelt werden. Die Zeiten werden durch Strecken versinnbildlicht.

a) $m = 1$; $h = b$. (Fig. 3).

Hier ist: $T = \frac{1}{n} = \tau$; $t = 0$; $z = 2T$.

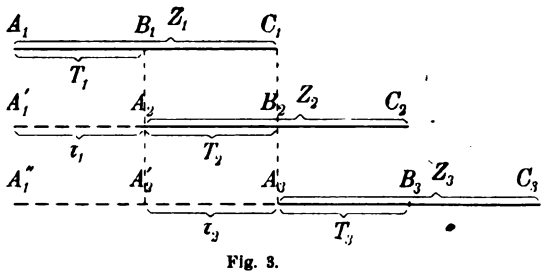


Fig. 3.

Im Zeitpunkt A_1 beginnt die Belichtung des Anfangs des ersten Filmbildes welche bis B_1 dauert ($A_1B_1 = T_1$); die Gesamtbelichtungszeit Z_1 des ersten Bildes, welche natürlich ebenfalls in A_1 beginnt, währt noch über B_1 hinaus bis C_1 ($A_1C_1 = Z_1$ und $A_1C_1 = 2\,A_1B_1$). Während des Zeitverlaufes $Z_1 = A_1C_1$ hat bereits die Belichtung des zweiten Filmbildes bei A_2 eingesetzt, sie beginnt um $\tau_1 = A_1'A_2$ nach dem Zeitpunkt A_1, und sie ist also gegen den Belichtungsanfang des ersten Bildes um die Bildfolgezeit τ zeitlich verschoben. Die Belichtung des zweiten Filmbildes geht, für sich betrachtet, nach denselben Gesetzen vor sich, wie die des ersten; es ist daher $A_2B_2 = T_2$; $A_2C_2 = Z_2$. Ebenso für das dritte Filmbild; $A_2'A_3 = \tau_2$; $A_3B_3 = T_3$; $A_3C_3 = Z_3$. Die Einzelbelichtungszeiten T gelten für Punkte in der Anfangslinie der Filmbilder, und es ist gleichmäßiger Gang des Apparates vorausgesetzt. Somit ist also:

$$A_1B_1 = A_2B_2 = A_3B_3 = \ldots = A_\nu B_\nu = T,$$
$$A_1C_1 = A_2C_2 = A_3C_3 = \ldots = A_\nu C_\nu = Z,$$
$$A_1'A_2 = A_2'A_3 = \ldots\ldots\ldots = A_\nu' A_\nu = \tau;$$

Dunkelpausen treten in dem besprochenen Fall nicht auf, weshalb in Fig. 3 keine Strecken für t enthalten sind.

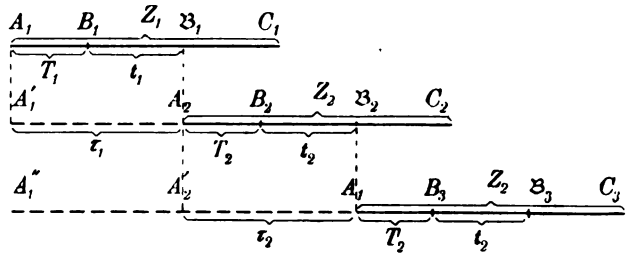


Fig. 4.

b) $m > 1$; $h > b$ (Fig. 4)[1]).

Die Anlage der graphischen Darstellung ist die gleiche, wie in Fig. 3. Im Zeitpunkt A_1 beginnt die Belichtung des ersten Filmbildanfanges, welche bis B_1 dauert ($A_1B_1 = T_1$), in B_1 setzt die Dunkelpause

[1]) Bei Fig. 4 ist in der untersten Linie Z_3 statt Z_2 zu lesen.

für den Bildanfang ein und dauert bis $\mathfrak{B}_1$ ($B_1\mathfrak{B}_1 = t_1$). In $\mathfrak{B}_1$ geht die Belichtung des zweiten Bildanfanges an, während die erste Gesamtbelichtungszeit Z_1 sich noch bis C_1 fortsetzt.

$$\begin{array}{llll} A_1B_1 & A_2B_2 & A_3B_3 = \ldots = & A_\nu B_\nu = T, \\ B_1\mathfrak{B}_1 & B_2\mathfrak{B}_2 & B_3\mathfrak{B}_3 = \ldots & B_\nu\mathfrak{B}_\nu = t, \\ A_1C_1 & A_2C_2 & A_3C_3 = \ldots = & A_\nu C_\nu = Z, \\ A_1'A_2 & A_2'A_3 & \ldots\ldots\ldots & A'_{\nu-1}A_\nu = \tau. \end{array}$$

Die bisher abgeleiteten und beschriebenen Beziehungen gelten für die Belichtungen der einzelnen Filmbildanfangslinien; die Belichtungen aller anderen Stellen in den Filmbildern spielen sich nach den gleichen Gesetzen ab, insonderheit haben die Einzelbelichtungszeiten T und die Dunkelpausen t für alle Stellen der Einzelbilder dieselbe Größe, sie sind nur zeitlich gegen die Vorgänge in den Anfangslinien verschoben.

Es empfiehlt sich zur Erläuterung dieser Verhältnisse und auch im Hinblick auf spätere Untersuchungen, die einzelnen Filmbilderflächen mit einem Koordinatensystem zu versehen, durch das die Lage eines jeden innerhalb eines Filmbildes gelegenen Punktes eindeutig bestimmt werden kann. Zu diesem Zweck soll der im Aufnahmeapparat abrollende Film vom Objektiv aus betrachtet werden, und der Koordinatenanfangspunkt soll nunmehr in die linke untere Ecke des Filmbildes gelegt werden. Die X-Achse fällt dann mit der Filmanfangslinie (untere Bildbegrenzung), die Y-Achse mit der linksseitigen Bildbegrenzung zusammen. In Fig. 5 ist diese Koordinatenanordnung im geschilderten Sinne angegeben. In den Punkten mit y konst spielen sich die Belichtungsvorgänge gleichzeitig ab, weil diese Punkte gerade auf zur Anfangslinie (X-Achse) der Filmbilder parallelen Geraden liegen.

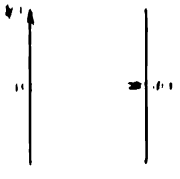


Fig. 5

Betrachtet man eine Gerade, die parallel zur X-Achse in der Entfernung y von derselben durch das Bild gezogen ist, so läßt sich die Zeit ϑ_y berechnen, welche zwischen dem Beginn der Belichtung der Filmanfangslinie und dem Beginn der Belichtung in dieser durch y charakterisierten Linie vergeht; dann gibt ϑ_y die zeitliche Verschiebung der Belichtung an, und es ist

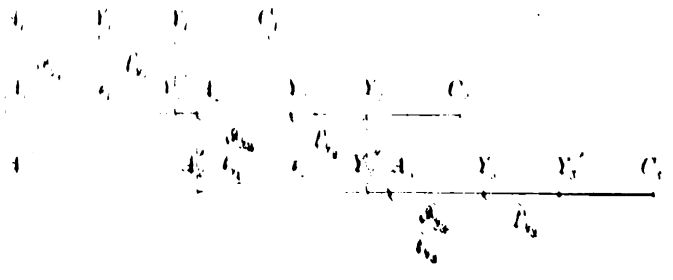


Fig. 6

$$\vartheta_y = \frac{y}{v} = \frac{y}{n \cdot h}, \qquad 9)$$

oder für $\frac{h}{y} = \eta$

$$\vartheta_y = \frac{1}{n \cdot \eta}. \qquad 9a)$$

Setzt man die Einzelbelichtungszeiten, die Dunkelpausen und die Zeitquotienten für die Geraden mit $y =$ konst gleich T_y, t_y und τ_y, so gelten die vorher für die Anfangslinien der Filmbilder abgeleiteten Gleichungen auch für diese Geraden, und es ist dabei unter Voraussetzung gleichmäßigen Ganges des Aufnahmeapparates

$$t_y \quad T_y \quad \tau_y = \quad T_y \quad T_y \qquad 10)$$

wo t, τ und T die für die Aufnahme geltenden Größen sind.

In Fig. 6 sind die Belichtungen der Filmbildflächen

bzw.

graphisch dargestellt, und zwar für den Fall $h > b$, der in der Praxis der meist gebräuchliche ist. Im Zeitpunkt A_1 beginnt die Belichtung des Anfangs des ersten Filmbildes, während die Mittellinie derselben $\left(y = \frac{h}{2}\right)$ erst nach Verlauf der Zeit $\vartheta_{y_1} = A_1 Y_1$ in Y_1 einsetzt und bis Y_1' dauert, so daß $Y_1 Y_1' = T_y$. Die Gesamtbelichtungszeit Z_1 geht noch weiter bis zum Zeitpunkt C_1. Während des Zeitverlaufes $A_1 C_1$ hat bereits die Gesamtbelichtung des zweiten Bildes in A_2 eingesetzt, wobei bekanntlich $A_1' = \tau_1 = 1/n$ ist. Die für die Mittellinie in Frage kommende Dunkelpause ist $Y_1'' Y_1 = t_{y_1}$. Es ist also:

$$\begin{aligned}
&A_1 Y_1 = A_2 Y_2 = A_3 Y_3 = \ldots = A_\nu Y_\nu = \vartheta_y \\
&Y_1 Y_1 = Y_2 Y_2 = Y_3 Y_3 = \ldots = Y_\nu Y_\nu = T_y \\
&A_1 C_1 = A_2 C_2 = A_3 C_3 = \ldots = A_\nu C_\nu = Z \\
&Y_1'' Y_2 = Y_2'' Y_3 = \ldots\ldots\ldots = Y_{\nu-1}'' Y = t_y \\
&A_1' A_2 = A_2' A_3 = \ldots\ldots\ldots = A_{\nu-1}' A = \tau.
\end{aligned}$$

Die zugeordneten Filmbildlinien, welche zu der X-Achse parallel verlaufen, zeichnen sich vor allen anderen dadurch aus, daß ihre y in den einzelnen Filmbildern konstant sind. Bezeichnet man die sie bestimmende Ordinate im ersten Bild mit y_1, im zweiten mit y_2 usf. bis y_ν im letzten Bild, so besteht für diese „zugeordneten" Filmbildlinien die Beziehung

$$y_1 = y_2 = y_3 = \ldots = y_\nu. \qquad 11)$$

Nur unter Einhaltung dieser Bedingung gelten die vorhin gegebenen Gl. 9), 10) und die daraus gefolgerten Beziehungen.

Betrachten wir nunmehr in den beiden ersten Filmbildern zwei Linien mit den Ordinaten y_1 und y_2, welche beide parallel zur X-Achse verlaufen, bei denen aber

$$y_1 \lesseqgtr y_2$$

ist (Fig. 7). Man findet durch eine kleine Überlegung, daß die Zeit τ', welche zwischen dem Beginn der Belichtung in der durch y_1 gekennzeichneten Linie und dem Beginn der Belichtung in der y_2-Linie vergeht, gleich ist

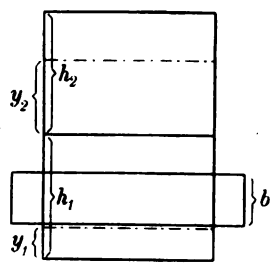


Fig. 7.

$$\tau' = \frac{h + (y_2 - y_1)}{v} = \frac{h + (y_2 - y_1)}{n \cdot h} = \frac{h + \Delta y_{21}}{n \cdot h}, \qquad 12)$$

wo allgemein $\Delta y_{21} = y_2 - y_1$ ist.

Für $\Delta y_{21} = 0$ geht die Gleichung über in

$$\tau' = \frac{1}{n}.$$

In diesem Fall ist also τ' nichts anderes als die in Gl. 7) gegebene „Bildfolgezeit" τ.

Ferner läßt sich auch die Zeit t' berechnen, welche zwischen dem Ende der Belichtung der y_1-Linie und dem Beginn der Belichtung in der y_1-Linie vergeht; sie ist

$$t' = \frac{h - b + (y_2 - y_1)}{v} = \frac{h - b + \Delta y_{21}}{n \cdot h}. \qquad 13)$$

Für $\Delta y_{21} = 0$ geht die Gleichung über in

$$t' = \frac{h - b}{n \cdot h} = \frac{m - 1}{m} \cdot \frac{1}{n}.$$

t' wird also für $y = 0$ gleich der Dunkelpause t, welche durch die Gl. 5) bestimmt ist.

Endlich kann auch die Zeit T' berechnet werden, welche vergeht zwischen dem Anfang der Belichtung in einem Punkt der y_1-Linie und dem Ende der Belichtung in einem Punkt der y_1'-Linie, wobei y_1 und y_1' in demselben Filmbild liegen. Es ist

$$T' = \frac{b + (y_1' - y_1)}{n \cdot h} = \frac{b + \Delta y_1}{n \cdot h}, \qquad 14)$$

wo $\Delta y_1 = y_1' - y_1$ ist. Für $\Delta y_1 = 0$, d. h. für Punkte auf der gleichen y-Linie im Filmbild wird

$$T' = \frac{b}{n \cdot h} \qquad 14\,a)$$

und damit gleich der Einzelbelichtungszeit nach Gl. 3).

Man kann daher τ' und t' als „verallgemeinerte" Bildfolgezeit und Dunkelpause ansehen. Die Ableitung dieser beiden Zeitgrößen macht sich notwendig mit Rücksicht auf die später zu behandelnden Spuren und Spurlücken.

Damit sind die bei der Filmbelichtung im Hochfrequenzkinematographen mitwirkenden grundlegenden Faktoren festgestellt, und es kann nunmehr die Auflösung von Bewegungen mit Hilfe des Hochfrequenzkinematographen behandelt werden, und zwar von geradlinig verlaufenden Bewegungen mit gleichförmigen Geschwindigkeiten.

Bei dem Hochfrequenzkinematographen ist zu unterscheiden, ob die Bahn der Vorgänge horizontal oder vertikal liegt. Zunächst möge der einfachere Fall der horizontal verlaufenden Bewegungen untersucht werden, und es werde angenommen, daß diese Bewegung senkrecht zur optischen Achse des Aufnahmeobjektivs und in der Entfernung a von demselben stattfindet. Die Bahn dieser Bewegung kann in eine Ebene gelegt werden, welche senkrecht zur optischen Achse steht und bei scharfer Einstellung mit der Filmebene konjugiert ist. Man kann daher das oben näher gekennzeichnete (x, y)-Koordinatensystem des Filmbildes in die Bewegungsebene abbilden, hier werde es durch die Koordinaten X und Y gekennzeichnet. Wenn die Brennweite des Aufnahmeobjektives mit f bezeichnet wird, so gilt allgemein

$$\frac{\Delta Y}{\Delta y} = \frac{a}{f} \quad \text{oder} \quad \frac{\Delta X}{\Delta x} = \frac{a}{f}. \qquad 15)$$

Wenn ein Punkt sich in der Zeit $\Delta\vartheta$ mit der gleichförmigen Geschwindigkeit c in der XY-Ebene horizontal vor dem Hochfrequenzkinematographen vorbeibewegt, so ist seine Bahn ΔX während dieser Zeit

$$\Delta X = c\,\Delta\vartheta, \qquad 16)$$

und seine „Spur" auf dem Film

$$\Delta x = \frac{f}{a} \cdot \Delta X = \frac{f}{a} \cdot c\,\Delta\vartheta. \qquad 17)$$

Dabei soll die Geschwindigkeit positiv gesetzt werden, wenn der Punkt, vom Standpunkt des Aufnahmeapparates aus betrachtet, sich von links nach rechts bewegt. Die Geschwindigkeit wird infolgedessen negativ, wenn die Bewegung im entgegengesetzten Sinne verläuft. Eine Abbildung des bewegten Punktes findet auf dem Film nur während der Belichtungszeit T statt, so daß $\Delta\vartheta = T$ und mithin die Spur Δx_1 auf dem Film gemäß Gl. 3a)

$$\Delta x_1 = \frac{f}{a} \cdot T = \frac{f}{a} \cdot \frac{1}{m \cdot n} \qquad 18)$$

wird, wo der Index 1 die Gültigkeit für das erste Filmbild anzeigen soll. Bei gleich-

mäßigem Gang des Apparates werden dementsprechend für das zweite, dritte usw. Filmbild die Spuren

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3 = \ldots = \Delta x_\nu = \frac{f}{a} \cdot \frac{1}{m \cdot n}. \qquad 18a)$$

Während der Dunkelpause t_1 zwischen den Einzelbelichtungen im ersten und zweiten Filmbild hat der Punkt die Strecke ΔX_{21} zurückgelegt, und die Spurlücke Δx_{21} ist dementsprechend

$$\Delta x_{21} = \frac{f}{a} \cdot ct = \frac{f}{a} \cdot c \cdot \frac{m-1}{m \cdot n}. \qquad 19)$$

Allgemein ist dann wieder unter Voraussetzung gleichmäßigen Ganges des Apparates

$$\Delta x_{21} = \Delta x_{32} = \Delta x_{43} = \ldots = \Delta x_{(\nu)(\nu-1)} = \frac{f}{a} \cdot c \cdot \frac{m-1}{m \cdot n}. \qquad 19a)$$

Die Spur ist aber, wie aus dem Gesagten hervorgeht, gleichbedeutend mit dem Begriff der Unschärfe bei der photographischen Abbildung. Diese wird demnach bei den Hochfrequenzkinematographen scharf sein, wenn die Spur unterhalb des Betrages der in der photographischen Technik allgemein zugelassenen Unschärfe $U = 0{,}1$ mm bleibt oder diesen höchstens erreicht. Das heißt also, die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers darf im Maximum einen solchen Wert annehmen, daß dabei die Spur gerade der noch zulässigen Unschärfe $U = 0{,}1$ mm gleichen wird. Folglich lautet Gl. 18)

$$\Delta x_1 = \frac{f}{a} \cdot c \cdot \frac{1}{m \cdot n} = U \qquad 19b)$$

und daraus ergibt sich die für die Erzielung scharf erscheinender Bilder zulässige Maximalgeschwindigkeit c_{max}

$$c_{max} = \frac{m \cdot n}{f} \cdot U \cdot a. \qquad 20)$$

Setzt man nun noch $\frac{m \cdot n}{f} \cdot U = \mu$ gleich dem Auflösungsfaktor, so wird

$$c_{max} = \mu \cdot a \qquad 20a)$$

eine Gleichung, die der entsprechenden für die normalen Aufnahmeapparate analog ist, in der aber die Auflösungsfaktoren nach anderen Gesichtspunkten berechnet werden.

Bei einer horizontal verlaufenden Bewegung sind alle vorkommenden Ordinaten konstant, weshalb die ΔY und Δy gleich Null werden.

Die Berechnung der Spuren und Spurlücken bei vertikalen Bewegungen weicht von der Ableitung bei horizontalen Bewegungen ab. Denn hier handelt es sich um Variationen in den Filmbildordinaten y, und demgemäß treten dafür die Gleichungen 13) und 14) für die verallgemeinerten Dunkelpausen t' und Einzelbelichtungszeiten T' in Kraft. Diese Variationen Δy_1 und Δy_{21} werden dadurch hervorgerufen, daß das Bild des sich bewegenden Punktes oder Gegenstandes infolge seiner Eigenbewegung in Richtung der Filmbewegung oder in entgegengesetzter Richtung während der Belichtungszeit und der Dunkelpause seinen Ort im Koordinatensystem wechselt. Hier soll auch gleich darauf hingewiesen werden, daß die Geschwindigkeit einer vertikalen Bewegung positiv gesetzt werden soll, wenn die Bewegung von oben nach unten stattfindet, und negativ, wenn die Bewegung im entgegengesetzten Sinne gerichtet ist.

Zur Berechnung der Spur geht man von Gl. 14) aus

$$T' = \frac{b + \Delta y_1}{n \cdot h}. \qquad 14)$$

Außerdem hat man für die y-Variation infolge der Bewegung des Punktes

$$\Delta y_1 = \frac{f}{a} \cdot \Delta Y_1 = \frac{f}{a} \cdot c \cdot T', \qquad 21)$$

wo Δy_1 die Spur auf dem Film darstellt. Durch Heraussetzen des T' in dieser Gleichung, nach Gleichsetzung von Gl. 21) und 14) und Auflösen nach Δy_1, findet man

$$\Delta y_1 = \frac{b f \cdot c}{a v - f c}. \qquad 22)$$

hierin ist $v = n \cdot h$ gleich der Filmgeschwindigkeit, welche positiv zu nehmen ist. Die Maximalgeschwindigkeit c_{max} folgt aus Gl. 22) für $\Delta y_1 = U$; nämlich:

$$c_{max} = \frac{U \cdot v}{f(b+U)} \cdot a = \frac{U \cdot n \cdot h}{f(b+U)} \cdot a. \qquad 23)$$

Analog ergibt sich für die Spurlücke Δy_{21} bei ähnlicher Ableitung unter Berücksichtigung der verallgemeinerten Dunkelpause nach Gl. 13)

$$\frac{\cdot}{n \cdot h} \quad \frac{b \cdot \cdot \Delta y_{21}}{\cdot} = \frac{h - b + \Delta y_{21}}{v}$$

und der Δy_{21}-Variation gemäß

$$\Delta y_{21} \quad \frac{f}{a} \cdot c \cdot t'$$

$$\Delta y_{21} \quad \frac{f \cdot c (h - b)}{a v - f \cdot c}. \qquad 24)$$

Zusammenfassend sollen hier nochmals die Gleichungen für die Spuren, die Spurlücken und die Maximalgeschwindigkeiten beim Hochfrequenzkinematographen aufgestellt werden, wie dieselben sich bei geradlinigen, gleichförmigen Bewegungen ergeben.

I. Die Bewegung verläuft horizontal:

Spur	Δx_1	$\frac{f \cdot c}{a} \cdot \frac{b}{n \cdot h} \quad \frac{f c}{a} \cdot \frac{1}{n \cdot m}$
Spurlücke	Δx_{21}	$\frac{f \cdot c}{a} \cdot \frac{h - b}{n \cdot h} \quad \frac{f \cdot c}{a} \cdot \frac{m - 1}{n \cdot m}$
Maximalgeschwindigkeit	c_{max}	$\frac{a \cdot U}{f} \cdot \frac{n \cdot h}{b} \quad \frac{a \cdot U}{f} \cdot n \cdot m.$

II. Die Bewegung verläuft vertikal:

Spur	Δy_1	$\frac{\cdot}{a \cdot h} \cdot \frac{b}{c} \quad \frac{f \cdot c}{a} \cdot \frac{1}{n \cdot m - f c}$ $\frac{a \cdot b}{}$
Spurlücke	Δy_{21}	$\frac{\cdot}{a \cdot h} \cdot \frac{h - b}{c} \quad \frac{f \cdot c}{a} \cdot \frac{m - 1}{n \cdot m}$ $\frac{a \cdot b}{}$
Maximalgeschwindigkeit	c_{max}	$\frac{a \cdot U}{f} \cdot \frac{n \cdot h}{b} \quad \frac{a \cdot U}{f} \cdot n \cdot m$ $\frac{}{b}$

Der Unterschied in der Maximalgeschwindigkeit für horizontale und vertikale Bewegungsrichtung wird um so größer, je kleiner der Ausdruck $\frac{b}{h}$ gegen 1 wird. Dies tritt ein für kleine Spurlängen, wie sie bei Aufnahmen von 9 bis 18 mm, das sind aber die in der Praxis am meisten gebrauchten Bildgrößen.

Für Bewegungsrichtungen, welche unter einem spitzen Winkel zu den Koordinatenachsen liegen, lassen sich die Spuren, Spurlücken und

Maximalgeschwindigkeiten auch berechnen. Man muß dieselben in ihre Komponenten nach der x- und y-Richtung zerlegen. Ein näheres Eingehen auf diese Verhältnisse würde hier zu weit führen. Ebenso wollen wir von der Behandlung der Auflösung schwingender und rotierender Bewegungsvorgänge absehen. Dieselben sind auf Grund der Gleichungen, welche in der genannten Arbeit „Das Auflösungsvermögen des Normalkinematographen" abgeleitet sind, unter Berücksichtigung der für den Hochfrequenzkinematographen geltenden Besonderheiten ohne Schwierigkeiten zu entwickeln.

Es möge nunmehr ein Beispiel für den Hochfrequenzkinematographen durchgerechnet werden, an der Hand dessen die theoretischen Überlegungen ihre praktische Bedeutung zeigen werden. Daneben soll dasselbe Beispiel auch für den Normalkinematographen zum Vergleich ausgeführt werden, wobei der Zeitquotient P für den Normal- und Hochfrequenzkinematographen gleich gesetzt werden soll.

Die geradlinige Bahn eines Punktes, der die gleichförmige Geschwindigkeit $c = +\,200$ m/sek besitzt, sei 10 m von dem Aufnahmeapparat entfernt. Bei den zum Vergleich herangezogenen Normalaufnahmeapparat sei die Objektivbrennweite $f = 50$ mm und der Zeitquotient $P = 1{,}88$ (Ernemann-Aufnahmekino Modell A, bei dem die Flügelblende einen Hellsektor $\alpha = 125^0$ und einen Dunkelsektor $\beta = 235^0$ hat). Für den Hochfrequenzkinematographen sind diese Bestimmungstücke gleich, die Schlitzbreite beträgt dabei 6,597 mm. Die Bildfrequenzen sind für den Hochfrequenzapparat $n = 400$, für den Normalaufnahmekino $n = 16$. In der folgenden Tabelle sind die Rechnungsergebnisse zusammengefaßt, und zwar in Millimeterangabe.

	Normalaufnahmeapparat: $n = 16$; $P = 1{,}88$; $f = 50$	Hochfrequenzaufnahmeapparat: $n = 400$; $P = 1{,}88$; $f = 50$	
		Horizontale Bewegung	Vertikale Bewegung
Max.-Geschw. .	921,6000000 mm/sek	23040,0000000 mm/sek	22695,5000000 mm/sek
Spur	0,2170150 mm	0,0086806 mm	0,0086920 mm
Spurlücke . . .	0,4079900 mm	0,0163196 mm	0,0163410 mm
	$c = 20000$ mm/sek	$c = 20000$ mm/sek	

Die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit des Normalapparates und des Hochfrequenzapparates zugunsten des letzteren gehen aus der Aufstellung deutlich hervor, dies zeigt besonders die Differenz in den Maximalgeschwindigkeiten, wo 92 cm/sek gegen 23 m/sek stehen. Der Vergleich der Leistungsfähigkeit läßt sich unter den oben angegebenen Voraussetzungen in Proportionen kleiden, die durch entsprechende Zusammenstellungen der abgeleiteten Gleichungen für die Normal- und Hochfrequenzkinematographie erhalten werden und deren Richtigkeit sich auch an den Zahlengrößen der Zusammenstellung erweist. Bezeichnet man für den Hochfrequenz- und den Normalapparat die Maximalgeschwindigkeiten entsprechend mit C und c, die Auflösungsfaktoren mit M und μ, die Spuren mit S und s, die Spurlücken mit L und l und die Bildfrequenzen mit N und n, so ergeben sich folgende vier Proportionen:

$$\begin{aligned} C : c &= N : n; \quad S : s = n : N; \\ M : \mu &= N : n; \quad L : l = n : N. \end{aligned} \tag{25}$$

Die Normalgeschwindigkeiten und die Auflösungsfaktoren sind den Bildfrequenzen direkt, die Spuren und Spurlücken umgekehrt proportional, natürlich unter Voraussetzung gleicher a, f und P.

Läßt man die mit dem Hochfrequenzapparat gewonnenen Aufnahmen auf einem normalen, kinematographischen Wiedergabeapparat mit der üblichen Frequenz $n = 16$

ablaufen, so spielen sich die Bewegungsvorgänge auf dem Projektionsschirm in starker Verlangsamung ab, die bestimmt ist durch die Beziehung

$$V = \frac{N}{n},$$

beispielsweise $V = \frac{400}{16} = 25$. Bei einer derartigen Wiedergabe können selbst bei sehr schnellen Bewegungen noch die Einzelphasen derselben deutlich wahrgenommen werden. Die Wirkung der Verlangsamung und Verdeutlichung der Bewegungen durch den Hochfrequenzkinematographen ist als Vergrößerung kleiner Zeitelemente ein Analogon zu der Wirkung der optischen Lupen, welche kleine Körperelemente vergrößern und dadurch der genauen Betrachtung zugänglich machen. Dem Hochfrequenzkinematographen auf Grund dieser Analogie den Namen „Zeitlupe" gegeben zu haben, ist daher ein glücklicher Gedanke.

Berechnung der Medial-Fernrohre mit einfacher Spiegellinse.

Von

Prof. **L. Schupmann** †.

Bezüglich der Literatur über Medial-Fernrohre sei auf folgendes verwiesen:

L. Schupmann, Die Medial-Fernrohre. B. G. Teubner, Leipzig 1899.
Astronom. Nachrichten, Band 158, Nr. 3786.
Zeitschrift für Instrumentenkunde. Oktober 1913.
Astronom. Nachrichten, Band 196, Nr. 4686.

Der Einfachheit halber ist in der Hauptfigur, in der Krümmungen und Linsendicken übertrieben dargestellt sind, statt des Prismas die optisch gleichwertige Linse gezeichnet. Die Buchstaben a und v, event. mit Index, bezeichnen die Vereinigungsweiten der konvergenten achsennahen D-Strahlen mit der Achse von der betreffenden Fläche an gerechnet, wenn sie geradlinig ohne Bruchpunkt verlängert werden. Radien, Längen usw. im Sinne der Figur sind in die Rechnung positiv einzuführen. Zur Vermeidung von Lichtverlust darf die totalreflektierende Fläche b des Prismas nicht belegt werden. Die in der Figur nicht vorhandenen Bezeichnungen sind lediglich Hilfsgrößen.

$$c_1 = g\,\frac{r_1 n_1 - f_1 (n_1 - 1)}{r_1 n_1}; \qquad c_2 = \frac{g f_1 (n_1 - 1)}{r_1 n_1}.$$

Der Trennungsbogen zwischen c_1 und c_2 bezeichnet den Anfang der Objektiv-Brennweite. Wegen den auffallend kleinen Krümmungen der Gläser, die in den Medialsystemen auftreten, ist eine trigonometrische Durchrechnung entbehrlich. Die Längen sind in Metern eingeführt. Da der Artikel praktischen Zwecken dienen soll, sind theoretische Erörterungen vermieden.

Als Material für das Objektiv eignet sich gewöhliches Silikat-Kron von $\nu_1 =$ ca. 61 bis 59, für die Spiegellinse gewöhnliches Flint von $\nu_{111} =$ ca. 36 bis 35. Wegen der geringeren Länge des Querrohres, an dessen Enden sich die Spiegellinse befindet, käme etwa noch für die Spiegellinse in Betracht die Glasart Schweres Flint $\nu_{111} =$ ca. 33,8, doch ist diese Glasart ein wenig gelblich gefärbt. Bei dieser Kombination: gewöhnliches Kron-Schwerflint] ergibt sich $\frac{y_1}{y_5} =$ ca. 4,6. Be-

sonders hervorzuheben ist die Kombination: Objektiv Boro-Silikat $\nu_1 =$ ca. 64 und Spiegel gewöhnliches Flint $\nu_{111} =$ ca. 35,8, welche auch $y_1 : y_5 =$ ca. 4,6 ergibt.

Bei den Medialen mit einfacher Spiegellinse kann das Öffnungsverhältnis des Fernrohres unbedenklich zu 1 : 10 gewählt werden. Das sekundäre Spektrum ist bei einem solchen 1 : 10 Fernrohr so groß, wie bei einem Refraktor vom Öffnungsverhältnis 1 : 25.,

Glasarten:

Objektiv: Gewöhnl. Kron $n_C = 1{,}510313$; $n_D = n_1 = 1{,}512851$; $n_F = 1{,}518948$

$$\nu_1 = \frac{n_1 - 1}{n_F - n_C} = \frac{0{,}51285}{0{,}008635} = 59{,}392.$$

Prisma: Boro-Silikat $n_D = n_{11} = 1{,}5168$; $\nu_{11} = 64{,}1$.

Spiegellinse: Gewöhnl. Flint $n_C = 1{,}61950$; $n_D = n_{111} = 1{,}6245$; $n_F = 1{,}636931$

$$N = \frac{n_{111} - 1}{n_F - n_C} = \frac{0{,}6245}{0{,}017431} = 35{,}8269.$$

Um einen besseren Achromatismus für die leuchtendsten Strahlen zu erzielen, als ihn das Zusammenfallen der C- und F-Strahlen ergibt, vergrößern wir N um ca. 0,0022, so daß wir

$$\nu_{111} = 35{,}829$$

in die Rechnung einführen.

Zunächst wird $y_1 : y_5$ annähernd ohne Berücksichtigung der Linsendicken usw. bestimmt, so daß Farbe und Abweichung gehoben sind. Die Rechnung ist genügend genau mit dem Rechenschieber durchzuführen. Die nachstehende Formel ist für ein komafreies Objektiv von ca. $n_1 = 1{,}51$ bis 1,52 gültig. Weiter wird vorausgesetzt, daß das Prisma, wie die Figur zeigt, um einen praktisch passenden Abstand i vom Fokus der D-Strahlen des Objektivs entfernt ist.

$$\left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 - 0{,}96\,(n_{111} - 1)\,\frac{2\nu_1}{\nu_{111}}\,\frac{y_1}{y_5} = 1{,}04\,\frac{(n_{111} - 1)^2}{n_{111}}\left(\frac{2\nu_1}{\nu_{111}}\right)^3; \quad \frac{2\nu_1}{\nu_{111}} = \frac{2 \cdot 59{,}39}{35{,}83} = 3{,}32 \quad . \quad . \quad 1)$$

$$\frac{y_1}{y_5} = \frac{2r_1}{\nu_{111}}\,(n_{111} - 1)\,0{,}48\left\{\sqrt{\frac{2r_1}{\nu_{111}}\,\frac{4{,}514}{n_{111}}} + 1\right\}$$

$$\frac{y_1}{y_5} = 3{,}32 \cdot 0{,}6245 \cdot 0{,}48\left\{\sqrt{3{,}32\,\frac{4{,}514}{1{,}6245} + 1} + 1\right\} = 4{,}17.$$

Probe: Gleichung 1) muß für diese Größe von $\frac{y_1}{y_5}$ auf beiden Seiten gleiche Werte liefern.

Das System soll der Sinus-Bedingung genügen. Es wird das dadurch erreicht, daß das Objektiv der Sinus-Bedingung genügt (komafrei gestaltet wird), daß weiter die Brennweite des Prismas so bemessen ist, daß Objektiv und Spiegelflächen in konjugierten Punkten stehen (d. h. daß Strahlen, die von einem Punkte des Objektivs ausgehen, auf der Spiegelfläche nach Durchsetzung des Prismas wieder vereinigt werden) und daß endlich die Vereinigungspunkte des einfallenden und zurückgeworfenen Strahlenkegels für die leuchtendsten Randstrahlen gleichweit vom Spiegel entfernt liegen. Infolge dieser Erfüllung der Sinus-Bedingung sind gewöhnliche Okulare anzuwenden. Legt man, wie in folgender Berechnung geschehen, den Vereinigungspunkt statt auf die Spiegelfläche, auf die Vorderfläche der Spiegellinse, so vereinfacht sich etwas die Rechnung und die dadurch seitlich im Gesichtsfelde entstehenden Fehler bleiben weit unter der Sichtbarkeitsgrenze.

Objektiv.

Das Objektiv soll 0,385 m freie Öffnung und eine Brennweite für D-Strahlen von 3,85 m haben. Die Scheiteldicke g betrage 0,028 m; die Dicke am Rande wird sein:

$$0{,}028 - \frac{y_1^2}{2\cdot(n_1-1)f_1} = 0{,}028 - \frac{\left(\frac{3{,}85}{20}\right)^2}{2\cdot 0{,}5129\cdot 3{,}85} = 0{,}01865\text{ m}.$$

Das Objektiv soll für die leuchtendsten Strahlen unter Berücksichtigung der ersten Abweichungs-Glieder der Sinus-Bedingung genügen. Es wird mit achsennahen D-Strahlen gerechnet. Logarithmen von 6 Stellen sind genügend genau; die beiden mit $\frac{D}{\nu_1}$ und $\frac{y_1^2}{D}$ multiplizierten Glieder können mit dem Schieber ausgerechnet werden.

Bestimmung von r_1.

$$D = \frac{f_1(n_1-1)(n_1+1)}{n_1^2} = \frac{3{,}85\cdot 0{,}512851\cdot 2{,}512851}{1{,}512851^2} = 2{,}16784$$

$$r_1 = D - \frac{D}{\nu_1}\,0{,}073 - \frac{y_1^2}{D}\,0{,}126 = 2{,}16784 - \frac{2{,}168}{59{,}4}\,0{,}073 - \left(\frac{3{,}85}{20}\right)^2\frac{0{,}126}{2{,}168} = 2{,}16304.$$

Bestimmung von r_2.

$$\nu_1 = \frac{r_1 n_1}{n_1-1} = \frac{2{,}16304\cdot 1{,}512851}{0{,}513851} = 6{,}38071;$$

$$\nu_2 = \nu_1 - g = 6{,}38071 - 0{,}028 = 6{,}35271$$

$$a_2 = f_1 - g\frac{f_1(n_1-1)}{r_1 n_1} = 3{,}85 - 0{,}028\,\frac{3{,}85\cdot 0{,}5129}{2{,}163\cdot 1{,}5129} = 3{,}8331$$

$$r_2 = \frac{(n_1-1)a_2\nu_2}{\nu_2 - n_1 a_2} = \frac{0{,}512851\cdot 3{,}8331\cdot 6{,}35271}{6{,}35271 - 1{,}512851\cdot 3{,}8331} = 22{,}5435$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{\nu_2}{\nu_1} = 1 - \frac{g}{\nu_1} = 1\,\frac{0{,}028}{6{,}38071} = 0{,}995612$$

Kontrolle der Brennweite.

$$\frac{1}{f_1} = \frac{n_1-1}{n_1}\left[\frac{1}{r_1} + \frac{y_2}{y_1}\left(\frac{1}{r_2}+\frac{1}{a_2}\right)\right]$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{0{,}512585}{1{,}512585}\left[\frac{1}{2{,}16304} + 0{,}99561\left(\frac{1}{22{,}5435}+\frac{1}{3{,}8330}\right)\right] = 0{,}259747 \quad . \quad . \quad 2)$$

$$f_1 = 3{,}8499.$$

Die Übereinstimmung genügt; $f_1 = 3{,}85$ angenommen.

Farbenzerstreuung des Objektivs.

Einige Werte sind aus Gleichung 2) zu entnehmen.

$$\frac{y_1}{\nu_1}\frac{n_1-1}{n_1}\left[\frac{1}{r_1} + \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2\left(\frac{1}{r_2}+\frac{1}{a_2}\right)\right] = \frac{y_1}{\nu_1}P$$

$$\frac{y_1}{\nu_1}\frac{0{,}512585}{1{,}512585}\left[0{,}462314 + 0{,}9956^2\cdot 0{,}3052506\right] = \frac{y_1}{\nu_1}0{,}259233 = \frac{y_1}{\nu_1}P.$$

Multipliziert man zur Kontrolle die Größe 0,259233 mit der Brennweite 3,85, so erhält man bei allen Instrumentgrößen annähernd dieselbe Zahl, nämlich 0,998049.

Die Farbenzerstreuung im objektseitigen Winkel ausgedrückt zwischen den *C*- und *F*-Randstrahlen beträgt also bei $^1/_{10}$ Öffnung des Fernrohres:

$$\frac{y_1}{\nu_1} 0{,}259233 = \frac{3{,}85}{20 \cdot 59{,}4} 0{,}2592$$

oder in Sekunden:

$$\text{ca.} \frac{3{,}85}{20 \cdot 59{,}4} 0{,}2592 \cdot 206000 = 173''.$$

Prisma

nur angenähert mit Schieber zu rechnen.

$$i = 0{,}032; \quad e = 0{,}032; \quad \frac{n_{11} - 1}{r_3} = \frac{1 + \frac{y_1}{y_5}}{f_1 + i} = \frac{1 + 4{,}17}{3{,}85 + 0{,}032} = 1{,}333$$

$$\frac{1}{r_3} = \frac{1{,}333}{0{,}5168} = 2{,}575$$

$$a_3 = i = 0{,}032; \quad a_4 = \frac{1}{\frac{1}{i} - \frac{n_1 - 1}{r_3}} + \frac{e}{n_{11}}; \quad a_4 = \frac{1}{\frac{1}{0{,}032} - 1{,}333} + \frac{0{,}032}{1{,}517} = 0{,}0546$$

$$\frac{y_3}{y_1} = \frac{i}{f_1} = \frac{0{,}032}{3{,}85} = 0{,}00831; \quad \frac{y_4}{y_1} = \frac{i}{f_1}\left[1 + \frac{e}{n_{11}}\left(\frac{1}{i} - \frac{n_{11} - 1}{r_3}\right)\right]$$

$$\frac{y_4}{y_1} = 0{,}00831\left[1 + 0{,}0212\,(29{,}97)\right] = 0{,}01355.$$

Farbenzerstreuung, Prisma:

$$\frac{y_1}{\nu_1} \frac{n_{11} - 1}{n_1} \frac{\nu_1}{\nu_{11}} \left[\left(\frac{y_3}{y_1}\right)^2 \left(\frac{1}{r_3} + \frac{1}{a_3}\right) - \left(\frac{y_4}{y_1}\right)^2 \frac{1}{a_4}\right]$$

$$\frac{y_1}{\nu_1} \frac{0{,}5168 \cdot 59{,}4}{1{,}5168 \cdot 64{,}1} \left[0{,}00831^2 \left(\frac{1{,}333}{0{,}5168} + \frac{1}{0{,}032}\right) - \frac{0{,}01355^2}{0{,}0546}\right] = -\frac{y_1}{\nu_1} 0{,}0003165.$$

Die Zerstreuung des Prismas ist also sehr gering, sie beträgt ca. $\frac{0{,}0003165}{0{,}259} = \text{ca.} \frac{1}{820}$ der Objektiv-Zerstreuung oder objektivseitig $\frac{173}{820} = \text{ca. } 0{,}21$ Sekunden.

Es muß nun noch eine Korrektion angebracht werden, da das Gesamtsystem am Rande größere negative Zerstreuung besitzt wie in der Nähe der Achse (Fehler gegen die Gauß-Bedingung); die Korrektion beträgt, sofern bei voller Öffnung der Fehler möglichst klein sein soll:

$$-\left(\frac{y_1}{f_1}\right)^3 42 \frac{y_1}{\nu_1} P = -\left(\frac{y_1}{f_1}\right)^3 42 \frac{y_1}{\nu_1} 0{,}259;$$

bei $^1/_{10}$ Fernrohröffnung also

$$-\frac{y_1}{r_1}\left(\frac{1}{20}\right)^3 42 \cdot 0{,}259 = -\frac{y_1}{r_1} 0{,}00136.$$

Die Zerstreuung des Objektivs, des Prismas und die Gauss-Korrektion ergeben zusammen:

$$\frac{y_1}{\nu_1}(0{,}259232 - 0{,}0003165 - 0{,}00136) = \frac{y_1}{\nu_1} 0{,}257555 = \frac{y_1}{\nu_1} F \quad \ldots \quad 3)$$

Kugelabweichung, Objektiv.

$$y_1^3 \frac{n_1 - 1}{2 n_1^2}\left[\left(\frac{1}{r_1}\right)^3 + \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^4\left(\frac{1}{r_2}+\frac{1}{a_2}\right)^2\left(\frac{1}{r_2}+\frac{1}{a_2}+\frac{n_1}{a_2}\right)\right]$$

$$y_1^3 \frac{0{,}512851}{2\cdot 1{,}512851^2}[0{,}462314^3 + 0{,}9656^4\cdot 0{,}3052506^2(0{,}3052506 + 1{,}512851\cdot 0{,}260892)]$$

$$= y_1^3\, 0{,}0182503 = A.$$

Multipliziert man zur Kontrolle 0,0182503 mit $f_1^3 = 3{,}85^3$, so ergibt sich bei allen Instrumentgrößen annähernd dieselbe Zahl, nämlich 1,04148.

Der objektseitige Abweichungswinkel zwischen abweichungsfrei gedachten und abgewichenem Randstrahl des Objektivs beträgt also bei $^1/_{10}$ Öffnung des Fernrohres:

$$A = \text{ca.}\left(\frac{3{,}85}{20}\right)^3 0{,}01825\cdot 206000 = \text{ca. } 27 \text{ Sekunden.}$$

Kugelabweichung, Prisma

nur annähernd mit Schieber zu berechnen.

$$y_1^3 \frac{n_{11} - 1}{2 n_{11}^2}\left[\left(\frac{y_3}{y_1}\right)^4\left(\frac{1}{r_3}+\frac{1}{a_3}\right)^2\left(\frac{1}{r_3}+\frac{1}{a_3}+\frac{n_{11}}{a_3}\right) - \left(\frac{y_4}{y_1}\right)^4 \frac{1+n_{11}}{a_4^3}\right]$$

$$y_1^3 \frac{0{,}5168}{2\cdot 1{,}5168^2}\left[0{,}00831^4\left(2{,}575+\frac{1}{0{,}032}\right)^2\left(33{,}875+\frac{1{,}5168}{0{,}032}\right) - 0{,}01355^4\,\frac{2{,}5168}{0{,}0546^3}\right]$$

$$= -y_1^3\, 0{,}00000858.$$

Die Abweichung des Prismas ist also sehr gering, nur ca. $\frac{0{,}00000858}{0{,}01825} = \frac{1}{2140}$ der Objektiv-Abweichung oder $\frac{27}{2149} = \text{ca. } \frac{1}{80}$ Sekunden; es wäre also kaum nötig gewesen, sie zu berücksichtigen.

Zwei kleine Korrektionen sind noch anzubringen, die eine k, weil die leuchtendsten Strahlen eine etwas größere Negativ-Abweichung bei dieser Art der Medials (mit nur einer Konkvalinse als Kompensation) verursachen als die D-Strahlen, die andere t, wegen der Abweichungsglieder höherer Ordnung, und zwar in folgenden Beträgen:

$$h = -A\,55\left(\frac{y_1}{f_1}\right)^3; \quad t = -A\,53000\left(\frac{y_1}{f_1}\right)^5; \quad h + t = -A\left(\frac{y_1}{f_1}\right)^3\left(55+\left(\frac{y_1}{f_1}\right)^2 53000\right);$$

zählen wir die Abweichungsbeiträge von Objektiv, Prisma und die Korrektionen zusammen, so ergibt sich für 1 : 10 Öffnungsverhältnis:

$$y_1^3\, 0{,}0182503 - x_1^3\, 0{,}00000858 - y_1^3 \frac{0{,}01825}{20^3}\left(55+\frac{53000}{20^2}\right)$$

$$= y_1^3\, 0{,}0178142 = y_1^3\, B \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

Damit beim fertigen Instrumente die leuchtendsten Strahlen unter Berücksichtigung der ersten Abweichungsglieder in demselben Abstande vom Spiegel divergierend ausgehen, in dem sie nach der Zurückwerfung sich wieder vereinigen, führen wir die Hilfsgröße a ein. Dieses a ist ein wenig länger a_5. Wir berechnen eine Spiegellinse so geformt, daß die D-Strahlen, die von einem Punkte divergierend ausstrahlen, der von der Vorderfläche des Spiegels den Abstand a hat, nach der Zurückwerfung in diesem Punkte wieder vereinigt werden. Diese Spiegellinse wird jedoch so in das fertige Instrument eingefügt, daß der Schnittpunkt der D-Strahlen mit der Achse von der Vorderfläche des Spiegels den Abstand a_5 hat. Die Strahlen ver-

einigen sich dann nach der Zurückwerfung in einem Punkte, der von der Vorderfläche des Spiegels um die Länge $2a - a_5$ entfernt liegt. Auf die Kugelabweichung hat diese Maßnahme nur sehr geringen Einfluß.

Es wird nun die Farbengleichung auf der Achse erfüllt:

$$\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} = \frac{F}{2}\frac{\nu_{111}}{\nu_1}\frac{n_{111}}{n_{111}-1}\left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2; \quad \text{siehe Gleichung 3)}$$

$$\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} = \frac{0{,}257555}{2}\,\frac{35{,}829}{59{,}392}\,\frac{1{,}6245}{0{,}6245}\left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 = \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 0{,}202085 = \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 E \quad \ldots \quad 5)$$

Ausdrücke für a_5 und a:

$$\frac{1}{a_5} = \frac{y_1}{y_5}\frac{1}{f_1+i} - \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 \frac{i}{(f_1+i)f_1}; \quad \frac{1}{a_5} = \frac{y_1}{y_5}\frac{1}{3{,}882} - \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 \frac{0{,}032}{3{,}882\cdot 3{,}85}.$$

$$\frac{1}{a_5} = \frac{y_1}{y_5}0{,}257599 - \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 0{,}002141085. \quad \ldots \quad 6)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_5} - \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 \frac{1}{2f_1}\left[\frac{1}{\nu_1 6{,}5} + 0{,}87\left(\frac{y_1}{f_1}\right)^2\right]$$

$$\frac{1}{a} = \frac{y_1}{y_5}0{,}257599 - \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 0{,}002141085 - \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 \frac{1}{7{,}7}\left[\frac{1}{59{,}39\cdot 6{,}5} + \frac{0{,}87}{20^2}\right]$$

$$\frac{1}{a} = \frac{y_1}{y_5}0{,}257599 - \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 0{,}002763588. \quad \ldots \quad 7)$$

Indem der Wert von $\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a}$ aus Gleichung 5) eingesetzt wird, stellen wir den Wert für $\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} - \frac{n_{111}}{a}$ auf:

$$\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} - \frac{n_{111}}{a} = \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 0{,}202085 - \frac{y_1}{y_5}1{,}6245\cdot 0{,}257599 + \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 1{,}6245\cdot 0{,}002763588$$

$$\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} - \frac{a_{111}}{a} = \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 0{,}206569 - \frac{y_1}{y_5}0{,}41795 = \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 M - \frac{y_1}{y_5}S. \quad \ldots \quad 8)$$

Soll die Kugelabweichung im System aufgehoben sein, so gilt die Gleichung:

$$y_1^3 B = y_1^3 \frac{n_{111}-1}{n_{111}^2}\left(\frac{y_5}{y_1}\right)^4\left(\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a}\right)^2\left(\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} - \frac{n_{111}}{a}\right).$$

$\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} = \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 E$ aus Gl. 5) und

$\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} - \frac{n_{111}}{a} = \left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 M - \frac{y_1}{y_5}S$ aus Gl. 8) ergibt:

$$B = \frac{n_{111}-1}{n_{111}^2}E^2\left[\left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 M - \frac{y_1}{y_5}S\right].$$

Aus dieser quadratischen Gleichung wird $\frac{y_1}{y_5}$ bestimmt:

$$\frac{y_1}{y_5} = \sqrt{\frac{B}{ME^2}\frac{n_{111}^2}{n_{111}-1} + \left(\frac{S}{2M}\right)^2} + \frac{S}{2M};$$

$B = 0{,}0178142$; $E = 0{,}202085$; $M = 0{,}206569$; $S = 0{,}41795$;

$$\frac{S}{2M} = \frac{0{,}41795}{2\cdot 0{,}206569} = 1{,}01165; \quad \left(\frac{S}{2M}\right)^2 = 1{,}02343.$$

$$\frac{y_1}{y_5} = \sqrt{\frac{0{,}0178142\cdot 1{,}6245^2}{0{,}206569\cdot 0{,}202085^2\cdot 0{,}6245} + 1{,}02343} + 1{,}01165 = 4{,}16554. \quad \ldots \quad 9)$$

Nachdem so $\frac{y_1}{y_5}$ festgestellt ist, können alle übrigen Größen für das System bestimmt werden. Es sind im folgenden nur die wichtigsten ausgerechnet.

$$x = \frac{f_1 + i}{\frac{y_1}{y_5}} - \frac{e}{n_{11}}; \quad x = \frac{3882}{4{,}16554} - \frac{0{,}032}{1{,}5168} = 0{,}910835;$$

$$r_3 = \frac{(n_{11}-1)(f_1+i)}{1+\frac{y_1}{y_5}} = \frac{0{,}5168 \cdot 3{,}882}{5{,}16554} = 0{,}388385$$

a_5 aus Gl. 6): $\frac{1}{a_5} = 4{,}16554 \cdot 0{,}257599 - 4{,}16554^2 \cdot 0{,}00214109 = 1{,}03588;$

$$a_5 = 0{,}965357;$$

a aus Gl. 7): $\frac{1}{a} = 4{,}16554 \cdot 0{,}257599 - 4{,}16554^2 \cdot 0{,}00276359 = 1{,}025085 \ldots 10)$

$$a = 0{,}975590.$$

Bestimmung von r_5.

$$\left(\frac{1}{r_5} - \frac{1}{a}\right) + \frac{1}{a} = \frac{1}{r_5}; \quad \frac{1}{r_5} - \frac{1}{a} \text{ aus Gl. 5)}; \quad \frac{1}{a} \text{ aus Gl. 10)}$$

$$(4{,}16554^2 \cdot 0{,}202085) + 1{,}025085 = \frac{1}{r_5} = 4{,}53161; \quad r_5 = 0{,}220782.$$

Bestimmung von r_6.

Die Scheiteldicke k der Spiegellinse betrage 0,0078.

$$v = \frac{n_{111}}{\frac{n_{111}-1}{r_5} + \frac{1}{a}} = \frac{1{,}6245}{0{,}6245 \cdot 4{,}53161 + 1{,}025085} = 0{,}421392.$$

Weil die D-Strahlen die Spiegelfläche senkrecht treffen, so wird:

$$r_6 = v + k = 0{,}421392 + 0{,}0078 = 0{,}429192.$$

Kontrolle der Spiegellinse:

$$2\left(\frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_6 - k}\right) n_{111} - 1 = \frac{\nu_{111}}{\nu_1}\left(\frac{y_1}{y_5}\right)^2 F.$$

Werden die betreffenden Werte eingesetzt, so ergibt sich auf beiden Seiten 2,6960. Die Rechnung ist also richtig.

Konvergenz-Verhältnis u im korrigierten Brennpunkte T:

$$u = \frac{2y_5}{2a - a_5} = \frac{2y_1}{\frac{y_1}{y_5}(2a - a_5)} = \frac{0{,}385}{4{,}16554(2 \cdot 0{,}975529 - 0{,}965357)} = 0{,}0937657.$$

Es ist also gerade so, als ob das Fernrohr ein Öffnungsverhältnis von $0{,}937657 = \frac{1}{10{,}665}$ hätte, oder als ob die Brennweite des Instrumentes $0{,}385 \cdot 10{,}665 =$ ca. 4,106 m beträge. Okulare, Vergrößerungen usw. sind danach zu bemessen.

Neigung der Objektiv-Linse:

Eine Ebene, die durch Objektiv-Prisma und Spiegelachse gelegt wird, schneidet das Objektiv symmetrisch, also ungeneigt. Der Winkel ξ, um den das Objektiv senk-

recht zu dieser Ebene geneigt werden muß, um in der Mitte des Gesichtsfeldes T den Astigmatismus zu haben, beträgt:

$$\xi = \pm \sqrt{\frac{2}{\frac{y_1}{y_5}} \frac{9}{2\left(x + \frac{k}{n_{111}}\right)} a \frac{f_4}{\frac{y_1}{y_5}}},$$

$$\xi = \pm \sqrt{\frac{2}{4{,}166} \frac{0{,}025}{2\left(0{,}9319 + \frac{0{,}0078}{1{,}6245}\right)} \frac{3{,}85}{0{,}9755 \cdot 4{,}166}} = 0{,}0088 = \frac{1}{113{,}5}.$$

Es gibt also zwei gleiche und entgegengesetzte Neigungen, die den Astigmatismus heben. Der betreffende Rand des Objektivs steht um $\frac{0{,}385}{113{,}5}\,\mathrm{m} = 3{,}40\,\mathrm{mm}$ mehr vor, als der gegenüberliegende. Würde dieser Astigmatismus nicht aufgehoben, so würde in der Mitte des Gesichtsfeldes ein regelmäßiger Astigmatismus von $\frac{y_1}{f_1}\xi^2 = \frac{1}{20}\left(\frac{1}{113{,}5}\right)^2 = \frac{1}{257000}$ oder ca. 0,805 Sekunden objektseitig auftreten.

Durchmesser des Spiegels:

$$2 \cdot y_6 = 2 y_5 \frac{r_6}{v} = \frac{0{,}385}{4{,}166} \frac{0{,}4292}{0{,}4214} = 0{,}0941\ \mathrm{m}.$$

Wir geben noch ca. 2 mm zu, so daß die freie Öffnung des Spiegels 96 mm beträgt.

Lage des korrigierten Brennpunktes T in bezug auf das Prisma.

$p = 2a - a_5 - x$; $p = 2 \cdot 0{,}957529 - 0{,}965357 - 0{,}910835 = 0{,}074866$.

Wenn die Einrichtung des Instrumentes, Anbringung des Mikrometers usw. es gestatten, kann diese Länge von ca. 7,5 cm noch etwas ermäßigt werden, indem man vor der Berechnung i etwas kleiner wählt, statt 0,032 etwa 0,022 m; die Länge p wird dann auch ungefähr 1 cm kleiner.

Astigmatismus aplanatischer Linsen.

Von
Dr. H. Harting in Schlachtensee.

Die Lage der astigmatischen Bildpunkte läßt sich für endliche Hauptstrahlneigungen allgemein feststellen, wenn es sich um ein System achsensenkrechter, paralleler Ebenen oder um ein dünnes Linsensystem handelt, bei dem die Eintrittspupille mit dem gemeinsamen Flächenscheitel zusammenfällt. Es wird verwiesen auf die Darstellung der Herren A. König und M. von Rohr im V. Kapitel: „Die Theorie der sphärischen Aberration", des Werkes: „Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik", herausgegeben von M. von Rohr, Berlin 1904.

Nun hat sich herausgestellt, daß auch bei einer anderen Gruppe einfacher Linsen, nämlich den aplanatischen, eine allgemeine Behandlung des Astigmatismus für endliche Hauptstrahlneigungen möglich ist. Voraussetzung ist, daß Eintritts- und Austrittspupille mit den konjugierten Punkten zusammenfallen, für die aplanatische Abbildung eintritt.

Bekanntlich unterscheidet man vier Arten aplanatischer Menisken, nämlich je nachdem die aplanatische Kugelfläche dem einfallenden Lichte zu hohl oder erhaben und ferner diese Fläche die erste oder die zweite der den Meniskus begrenzenden Flächen ist. Die erste Abstufung führt zu denselben Rechnungsergebnissen; bei der zweiten verläuft die Rechnung etwas anders.

I. Aplanatische Kugelfläche voran.

In dem in Fig. 1 dargestellten Falle trifft ein Lichtstrahl auf die erhabene aplanatische Fläche im Punkte P unter dem Winkel α_1 zur Achse. Er wird nach dem Punkte A' unter dem Winkel α_2 zur Achse gebrochen. A und A' sind aplanatische Punkte, wenn ihre Abstände vom Scheitel S der aplanatischen Fläche $r_1(n+1)$ und $r_1(n+1):n$ sind, wo r_1 der Radius MS der Kugelfläche und n der Brechungsquotient der Linse ist. Die zweite Linsenfläche liegt zu A' konzentrisch, ihr Radius ist, unter Vernachlässigung der Linsendicke

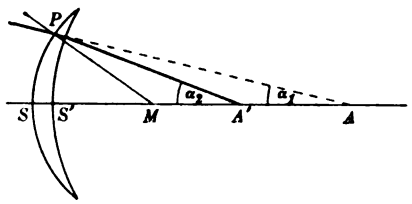


Fig. 1.

$$A'S' = r_2 = r_1 \frac{n+1}{n}.$$

Wie bekannt, ist der Einfallswinkel am Punkte $P = \alpha_2$, der Brechungswinkel $= \alpha_1$, also $\sin \alpha_2 = n \sin \alpha_1$; die Brechkraft der sammelnden Linse wird:

$$\varphi = \frac{n-1}{n+1} \cdot \frac{1}{r_1}.$$

Einfalls- und Brechungswinkel an der zweiten Fläche sind Null.

Für die Schnittweiten vor und nach der Brechung an der ersten und zweiten Fläche im sagittalen Hauptschnitte s_1, s_1', s_2, s_2' und im tangentialen Hauptschnitte t_1, t_1', t_2, t_2' ergeben sich folgende Werte:

$$\frac{1}{s_1} - \frac{\cos \alpha_2}{r_1} = \frac{n}{s_1'} - \frac{n \cos \alpha_1}{r_1}, \qquad \frac{\cos^2 \alpha_2}{t_1} - \frac{\cos \alpha_2}{r_1} = \frac{n \cos^2 \alpha_1}{t_1'} - \frac{n \cos \alpha_1}{r_1},$$

$$\frac{n}{s_2} - \frac{n}{r_2} = \frac{1}{s_2'} - \frac{1}{r_1}. \qquad \frac{n}{t_2} - \frac{n}{r_2} = \frac{1}{t_2'} - \frac{1}{r_2}.$$

Vernachlässigt man den Weg des Hauptstrahles in der Linse, so wird

$$s_2 = s_1', \quad t_2 = t_1'$$

und damit

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{1}{s_1} + \frac{n \cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{r_1} - \frac{n-1}{r_2},$$

$$\frac{\cos^2 \alpha_1}{t_2'} = \frac{\cos^2 \alpha_2}{t_2} + \frac{n \cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{r_1} - \frac{n-1}{r_2} \cos^2 \alpha_1.$$

Hieraus ergibt sich schließlich:

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{1}{s_1} + \varphi \frac{n+1}{n-1} \cdot \frac{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin \alpha_1} - n\varphi,$$

$$\frac{1}{t_2'} = \frac{1}{t_1} \left(\frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \right)^2 + \varphi \frac{n+1}{n-1} \cdot \frac{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin \alpha_1 \cos^2 \alpha_1} - n\varphi.$$

II. Aplanatische Kugelfläche folgend.

Der Lichtstrahl fällt nach Fig. 2 auf die erste erhabene Fläche unter dem Winkel α_1 gegen die Achse ein. A und A' sind die aplanatischen Punkte. S ist der Scheitel der aplanatischen Fläche mit dem Mittelpunkte M und dem Radius r_2. Der

Neigungswinkel α_2 des Strahles gegen die Achse nach der Brechung an der aplanatischen Fläche ergibt sich aus der Gleichung:

$$\sin \alpha_1 = n \sin \alpha_2 .$$

Der Radius r_1 der ersten Fläche ist $r_2 (n+1) : n$.
Die Brechkraft φ der Linse wird negativ:

$$\varphi = -\frac{n-1}{n+1} \cdot \frac{1}{r_2}.$$

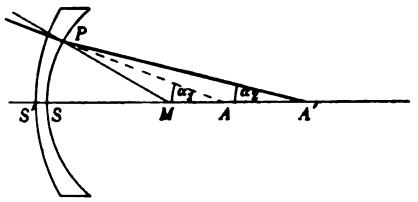


Fig. 2.

Einfalls- und Brechungswinkel an der ersten Fläche sind Null.

Hiermit wird:

$$\frac{1}{s_1} - \frac{1}{r_1} = \frac{n}{s_1'} - \frac{n}{r_1},$$
$$\frac{n}{s_2} - \frac{n \cos \alpha_2}{r_2} = \frac{1}{s_2'} - \frac{\cos \alpha_1}{r_2}.$$

$$\frac{1}{t_1} - \frac{1}{r_1} = \frac{n}{t_1'} - \frac{n}{r_1},$$
$$\frac{n \cos^2 \alpha_2}{t_2} - \frac{n \cos \alpha_2}{r_2} = \frac{\cos^2 \alpha_1}{t_2'} - \frac{\cos \alpha_1}{r_2}.$$

Unter Vernachlässigung der Dicke wird:

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{1}{s_1} - \frac{n \cos \alpha_2 - \cos \alpha_1}{r_2} + \frac{n-1}{r_1},$$
$$\frac{\cos^2 \alpha_1}{t_2'} = \frac{\cos^2 \alpha_2}{t_1} - \frac{n \cos \alpha_2 - \cos \alpha_1}{r_2} + \frac{n-1}{r_1} \cos^2 \alpha_2 .$$

Hieraus folgt schließlich:

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{1}{s_1} + \varphi \frac{n+1}{n-1} \cdot \frac{\sin (\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin \alpha_2} - n \varphi ,$$
$$\frac{1}{t_2'} = \frac{1}{t_1} \left(\frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \right)^2 + \varphi \frac{n+1}{n-1} \cdot \frac{\sin (\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin \alpha_2 \cos^2 \alpha_1} - n \varphi \left(\frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \right)^2 .$$

Für den sammelnden Meniskus mit hohler Fläche gegen das Licht gelten die Gleichungen II, für den zerstreuenden die Gleichungen I.

Stellt man einen zweiten aplanatischen Meniskus so, daß das auf ihn fallende Licht von dem aplanatischen Punkt des ersten Meniskus her einfällt, so läßt sich auch für diese Kombination die Lage der astigmatischen Bildpunkte bei endlichen Hauptstrahlneigungen allgemein feststellen. Nur muß dann für den Übergang vom ersten auf den zweiten Meniskus der Weg des Hauptstrahls zwischen ihnen berücksichtigt werden. Dieser Weg ist gleich der Summe oder Differenz der Größen PA bzw. PA', je nachdem der Hauptstrahl zwischen den beiden Linsen die Achse kreuzt oder nicht. Für diese Größen sind die absoluten Werte:

$$|PA| = \frac{n-1}{n+1} \cdot \frac{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}{\sin \alpha_1} \cdot f,$$
$$|PA'| = \frac{n-1}{n+1} \cdot \frac{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}{\sin \alpha_2} \cdot f,$$

wo f die Brennweite der aplanatischen Linse ist.

Setzt man auf diese Art mehrere aplanatische Sammellinsen zusammen, die sich berühren, ihre hohlen Flächen dem einfallenden Lichte zu kehren und denselben Brechungsquotienten haben, so stehen die Brennweiten im Verhältnis von $1 : n : n^2 \ldots$; die Sinus der Neigungswinkel der gebrochenen Strahlen sind $\sin \alpha_1 : n$, $\sin \alpha_1 : n^2$, $\sin \alpha_1 : n^3 \ldots$. Die Formeln für die sagittale und tangentiale Schnittweite bei einer derartigen Kombination anzuführen, erübrigt sich.

[illegible] schon die Anwendung aplanatischer Linsen in der praktischen [illegible] kommt die Stellung der Eintrittspupille in dem einen aplanatischen [illegible] Ausnahme gelten. Bei der Verwendung aplanatischer Linsen als Front- [illegible] Projektionsokularobjektiven tritt allerdings, wenigstens mit Annäherung, dieser Fall [illegible] Gegenstand befindet sich in dem einen aplanatischen Punkte der Frontlinse [illegible] gleichzeitig die Eintrittspupille für die nach der Abbeschen Theorie die [illegible] bewirkenden, von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen.

Auch für die Kombination eines Systems unendlich dünner Linsen, dessen gemeinschaftlicher Scheitel in einer Pupillenebene liegt, mit einem aplanatischen Meniskus lassen sich die astigmatischen Bildpunkte bei endlicher Hauptstrahlneigung darstellen. Dieser Scheitel muß dann in einem der beiden aplanatischen Punkte liegen. Dasselbe gilt von der Kombination einer aplanatischen Fläche mit einem folgenden achsensenkrechten Ebenensystem. Ist z. B. an die aplanatische Fläche in Fig. 1 nicht der Kreis um A', sondern eine achsensenkrechte Ebene angeschlossen, so ergibt sich, wenn die Hauptstrahlen durch den einen aplanatischen Punkt gehen und die Linsendicke vernachlässigt wird, bei Anwendung der vorher benutzten Bezeichnungen:

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{1}{s_1} + \frac{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{r_1 \sin \alpha_1},$$

$$\frac{1}{t_2'} = \frac{1}{t_1}\left(\frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos \alpha_1 \cos \alpha_3}\right)^2 + \frac{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{r_1 \sin \alpha_1 \cos^2 \alpha_1}\left(\frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_3}\right)^2.$$

Hierin ist α_3 der Neigungswinkel des Hauptstrahles gegen die Achse nach der Brechung an der konvexplanen Linse und $\sin \alpha_3 = n \sin \alpha_2$.

Bücherbesprechungen.

R. Hugershoff und **H. Crans,** Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen. 253 S. m. 34 Fig., 10 Tafeln und 1 Kartenbeilage. Stuttgart, Conrad Wittwer. 1919.

Mit diesem Buche treten die beiden Autoren erstmals mit einem unter dem Namen „Luftbildmessung" im letzten Kriegsjahr in militärischen Fachkreisen bekanntgewordenen Meßverfahren vor die Öffentlichkeit. Das Verfahren entspricht dem terrestrischen photogrammetrischen Vorwärtseinschneiden. Es liegen zwei mit einer besonderen Meßkammer erhaltenen Fliegeraufnahmen des gleichen Gebietes vor mit möglichst zueinander senkrecht verlaufenden Blickrichtungen.

Aus mindestens drei abgebildeten Festpunkten läßt sich daraus für jede Platte, deren innere Orientierung (Hauptpunkt und Brennweite) gegeben sind, die gesamte äußere Orientierung, d. h. Lage und Höhe des Aufnahmeorts, Blickrichtung, Neigung und Verkantung der Platte nach dem Verfahren des räumlichen Rückwärtseinschnittes errechnen. Damit sind alle Elemente gegeben, um aus den Platten Azimute und Höhenwinkel nach beliebigen, abgebildeten Geländepunkten entweder nach den bekannten photogrammetrischen Formeln für gekippte Platten rechnerisch, oder mittels eines später besprochenen Bildmeßtheodoliten unmittelbar zu entnehmen.

Da auch Aufnahmeort und Blickrichtung gegeben, können hiermit die die Neupunkte bestimmenden Zielstrahlen graphisch oder rechnerisch festgelegt, d. h. die Punktlage durch Vorwärtseinschnitt gefunden werden.

Dieses in der Theorie schon lange vor dem Kriege bestehende, jedoch nicht über schwache praktische Versuche hinausgekommene Verfahren hat in den letzten Kriegsjahren lebhafte Förderung durch die daran interessierten militärischen Behörden gefunden. Die Verfasser des vorliegenden Werkes waren vom kommandierenden General der Luftstreitkräfte beauftragt worden

durch praktische Versuche, durch die Konstruktion von Aufnahme- und Auswertegeräten sowie durch Vereinfachung der notwendigen Rechenoperationen das aussichtsreiche Verfahren zu einer genauen und wirtschaftlichen Maßmethode auszugestalten. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sind in dem vorliegenden Buch niedergelegt.

Im ersten Abschnitt werden die Instrumente und ihre Justierung behandelt. Die Aufnahmekammer besteht aus einer kurzbrennweitigen (16,5 cm) starren Fliegerkamera 13×18 cm mit geschliffenem Anlegerahmen für die Platte und darin angebrachten Marken zur Kennzeichnung der inneren Orientierung. Zur Vermeidung von Verzerrungen ist der sonst bei Fliegerkameras übliche Schlitzverschluß durch einen Zentral-Compoundverschluß ersetzt. Der „Komparator" ist ein Koordinatometer mit zueinander rechtwinklig verlaufenden Schlittenführungen und Mikroskopablesung zur Entnahme von Bildkoordinaten aus einer einzelnen Platte. Unter dem Namen „Bildmeß-Theodolit" wird ferner ein Winkelmeßgerät besprochen, das gestattet nach Einspannen der Platte und Einstellung der Kippung und Kantung die Horizontal- und Vertikalwinkel nach irgend einem angezielten Geländepunkte unmittelbar wie beim Messen im Freien mit einem Theodolit zu entnehmen. Ein ähnliches Instrument war schon vor nahezu 10 Jahren im Verein mit der Landesaufnahme vom Zeisswerk in Jena ausgeführt worden. Man muß sich daher wundern und es zeugt von wenig gutem Zusammenarbeiten der betreffenden militärischen Stellen, daß trotz des Bestehens der einwandfreien Konstruktion die Verfasser und mit ihnen die vorgesetzten Behörden unter Außerachtlassung der damals gewonnenen Erfahrungen eigene Wege, die auch seinerzeit schon als irreführend erkannt und verlassen worden waren, gegangen sind und gewissermaßen offene Türen eingerannt haben. Erst das neueste von den Verfassern offenbar auf die Einwände aus Fachkreisen gebaute Modell B des Bildmeß-Theodolits nähert sich mehr der von Koppe bereits vor 20 Jahren angegebenen Konstruktion, die durch Einschalten eines dem Aufnahmeobjektiv identischen Objektivs zwischen Platte und Betrachtungsternrohr nicht nur zur Ausschaltung aller Verzeichnungsfehler führt, sondern auch die vorteilhafte Beobachtung im parallelen Strahlengang erreicht. Die Mängel der Cranz-Hugershoffschen Konstruktion sind eingehend in der weiter unten besprochenen Veröffentlichung von Prof. Pulfrich hervorgehoben, worauf wir hiermit verweisen möchten.

Der zweite Abschnitt handelt von der Bestimmung des Standortes und der äußeren Orientierung der Aufnahme und ist namentlich der graphisch numerischen Lösung des räumlichen Rückwärtseinschnittes (Pyramidenverfahren) sowie der Ermittelung der Plattenneigung und Kantung gewidmet. In einem weiteren Abschnitt wird die Verwertung der Aufnahmen und die Herstellung von Plänen daraus besprochen, während der vierte Abschnitt sich mit Genauigkeitsuntersuchungen bezüglich der Standortsberechnung und Neupunktsbestimmung befaßt. Schließlich werden in einem fünften Abschnitt noch wirtschaftliche Fragen erörtert. Die darin gemachten Angaben dürften jedoch nur mit Vorsicht aufzufassen sein, wenn man berücksichtigt, daß die Erfahrungen doch noch immer verhältnismäßig geringen Umfanges und unter ganz besonderen Umständen gewonnen worden sind. Auch scheint das Verfahren in seiner jetzigen Gestalt für eine allgemeine Verwertung zur Kartenherstellung noch etwas schwerfällig. Erst die Übertragung des stereoskopischen Meßprinzips, das auch die irdische Photogrammetrie erst wirklich lebensfähig gemacht hat, wird die Luftbildmessung namentlich noch in Verbindung mit dem automatischen Auswertverfahren nach dem Prinzip des Stereoautographen zu einem bezüglich Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit idealen Meßverfahren vervollkommnen. Die Verfasser scheinen nach ihrer Äußerung auf Seite 123, daß „im Gegensatz zu terrestrischen Verhältnissen durchaus keine Notwendigkeit vorliege, die Meßtischphotogrammetrie aus der Luft durch ein stereophotogrammetrisches Verfahren zu ersetzen", die fundamentale Bedeutung der stereoskopischen Bildbetrachtung und automatischen Auswertung noch nicht recht erkannt zu haben, wie es auch schwer fällt, für die weiteren Auslassungen auf Seite 124 über das Verhältnis der Luftbildmessung in der vorliegenden Form zu der Stereoautogrammetrie eine andere Erklärung als den Mangel an praktischer Betätigung mit letzterem Verfahren zu finden. Auch die im Zusammenhang mit diesen Erörterungen gebrachten Literaturangaben erscheinen etwas lückenhaft, da sie die so wertvollen Arbeiten auf diesem Gebiete von Pulfrich, von Orel, Brückner, Korzer, Corbin u. A. vermissen lassen.

Im übrigen stellt das Buch namentlich durch die vielfach angefügten praktischen Rechenbeispiele für alle, die sich mit der Frage der modernen Luftbildmessung beschäftigen, eine willkommene Bereicherung der Literatur dar. Dr.-Ing. *Lüscher.*

C. Pulfrich, Über Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen und die ihr dienenden Instrumente. 8° V, 46 S. m. 16 Abb. Jena, Gustav Fischer. 1919.

Auch diese Arbeit behandelt den gleichen Stoff wie das vorher besprochene Buch von Cranz-Hugershoff, nämlich die Einschneidephotogrammetrie vom Luftfahrzeug aus. Der erste und zweite Abschnitt enthält die Beschreibung der Instrumente, die schon vor nahezu zehn Jahren vom Zeisswerk für die photogrammetrische Vermessung vom Freiballon aus zum Teil auf Vorschlag des damaligen Oberleutnants Griesel von der preußischen Landesaufnahme konstruiert worden sind, die aber erst im Sommer 1918 die ihnen gebührende Beachtung gefunden haben. Es sind dies der Ballon-Phototheodolit und der nach dem Verfahren von Koppe gebaute Photomeßtisch, jetzt Bildmeß-Theodolit genannt. Beide Apparate, die im Wesen dem auch von Cranz-Hugershoff beschriebenen Aufnahmeapparat und Ausmeßapparat entsprechen, haben neuerdings einige Umgestaltungen erfahren (die Aufnahmekammer ist zum freihändigen Gebrauch aus dem Flugzeug, das Ausmeßgerät zur unmittelbaren Ausmessung der Negative unter Hinweglassung des früher vorhandenen Schwenklineals eingerichtet), auf die der Verfasser im zweiten Abschnitt eingehend zu sprechen kommt. Der dritte Abschnitt bringt eine sehr lesenswerte eingehende Kritik des von den Herren Cranz und Hugershoff für den gleichen Zweck angegebenen und von der Firma Heyde in Dresden gebauten Bildmeß-Theodolits, in der die großen Vorzüge der bereits vor 20 Jahren von Koppe angegebenen Konstruktion (Einschaltung eines mit dem Aufnahmeobjektive identischen Objektivs in den Strahlengang) gebührend hervorgehoben werden. Der vierte Abschnitt ist einem von Dipl.-Ing. Fischer angegebenen Verfahren der Standortsbestimmung gewidmet. Aus drei gegebenen Festpunkten und der zunächst angenähert angenommenen Kantung und Kippung werden die Verbesserungen für die Neigung und Kantung der Platte errechnet, und dann nach Entnahme der Horizontal- und Vertikalwinkel der Standorte als ebener Rückwärtseinschnitt ermittelt. Für die zur Bestimmung der Kantung und Neigung erforderlichen Formeln gibt Pulfrich eine von ihm gefundene sehr elegante und einfache Ableitung. Das ganze Verfahren zeichnet sich durch größte Einfachheit und geringen Zeitaufwand für die Rechnung gegenüber dem umständlichen sogenannten Pyramidenverfahren (vgl. Cranz-Hugershoff: „Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen") aus. Im fünften Abschnitt bringt der Verfasser noch eine Modifikation des Fischerschen Verfahrens. Aus der Kenntnis der drei Fixpunkte ist man danach in der Lage, die wahren Vertikal- und Höhenwinkel für die drei Festpunkte und sonstige beliebige Bildpunkte allein durch Rechnung auf Grund einer einzigen an der nicht orientierten Platte vorgenommenen Messung dieser Winkel abzuleiten. Der Schlußabschnitt bringt noch eine Stellungnahme gegen die im Hugershoff-Cranzschen Buch über die Leistungsfähigkeit und Luftbildphotogrammetrie gegenüber der terrestrischen Methode aufgestellten Behauptungen. Aus der noch im Vorwort eingefügten Ankündigung einer weiteren Schrift über einen neuartigen automatischen Auftragapparat für beliebig gerichtete Achsen[1]), „Stereoplanigraph" genannt, entnehmen wir, daß auch die Luftbildphotogrammetrie auf dem besten Wege zu ihrer höchsten Vollendung in ihrer Form als Luftstereophotogrammetrie mit automatischer Auswertung ist. Nach dem derzeitigen Stand der Luftbildmessung ist nicht mehr daran zu zweifeln, daß es in Bälde gelingen wird, dieses idealste aller Meßverfahren zu verwirklichen. Dr.-Ing. *Lüscher.*

[1]) Brauchbare Vorschläge für den Umbau des bestehenden Zeiss-Orelschen Stereoautographen für beliebig gerichtete Aufnahmeachsen sind auch bereits 1913 von Dr.-Ing. Sander, Jena, und 1914 von Dr. von Gruber, München, gemacht worden.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

OCT 14 1921
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
R. Straubel in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

8. Heft: August.

Inhalt:

E. Wiedemann und J. Frank, Vorrichtungen zur Teilung von Kreisen und Geraden usw. nach Birûnî S. 225. — A. Fennel, Kreisteilungen und Kreisteilmaschinen S. 236. — H. Greinacher, Muß bei ballistischen Eichspulen auf die magnetische Schirmwirkung Rücksicht genommen werden? S. 240. — C. Leiss, Über Spektralapparate und Monochromatoren für Untersuchungen im sichtbaren und U.-V.-Gebiet S. 242.

Bücherbesprechungen: Rein-Wirtz, Radiotelegraphisches Praktikum S. 251. — A. Haas, Einführung in die theoretische Physik mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme S. 252. — A. Einstein, Äther und Relativitätstheorie, Rede, gehalten am 5. Mai 1920 an der Reichsuniversität zu Leiden S. 252.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch. Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer 'Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für alle übrigen Zahlungen Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener [6147]
Präzisionsmechanischen Werkstätten

G. KESEL
G. m. b. H.
in Kempten i. Allg.

Gravier-Apparat
zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

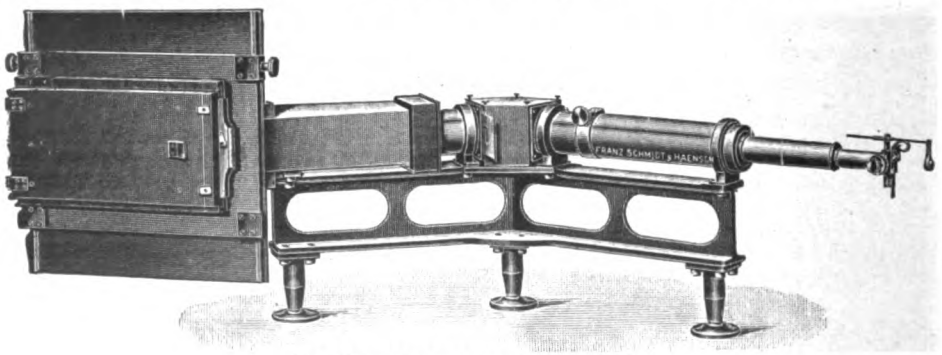
für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,
RATHENOW a. H.

Franz Schmidt & Haensch

BERLIN S 42

Prinzessinnenstr. 16 Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **August 1921.** Achtes Heft.

Vorrichtungen zur Teilung von Kreisen und Geraden usw. nach Bîrûnî.

Von

Ellhard Wiedemann und **Josef Frank** in Erlangen.

Die im folgenden mitgeteilten Vorrichtungen hat einer der größten Gelehrten der islamischen Welt und wohl aller Zeiten *Abu'l Raiḥân Muḥammed ibn Aḥmed a Bîrûnî*[1]) in seinem Werk „Über die ins Einzelne gehende Behandlung aller möglichen Methoden für die Herstellung des Astrolabs“[2]) beschrieben. Da uns naturgemäß im ganzen nur sehr wenige technische Einzelheiten aus dem Altertum und Mittelalter überliefert sind, dürfte die Mitteilung der Angaben *Bîrûnîs* einen gewissen Wert haben, um so mehr als wir bei der starken Abhängigkeit der muslimischen Wissenschaft von derjenigen der Griechen hierdurch auch in das Verfahren der letzteren Einblick erhalten.

Das Astrolab, das aus dem Altertum stammt, ist von den Arabern vervollkommnet worden und durch ihre Vermittlung in das Abendland gekommen. Lange Zeit ist es eines der wichtigsten Instrumente der Astronomen gewesen. Einmal verwendet man es zu Winkelmessungen, vor allem zur Bestimmung der Höhe der Sonne oder eines Sternes, dann aber löst man mit ihm auf mechanischem Wege ohne Rechnung eine Reihe von astronomischen Aufgaben, vor allem auch solche, die eine astrologische Bedeutung haben[3]).

Das Astrolab ist im wesentlichen eine kreisförmige Metallscheibe. Nach der Konstruktion ihrer Aufhängevorrichtung (s. Fig. 1) stellt sie sich beim Aufhängen vertikal ein. Der Rand der Rückseite ist entweder in seinem ganzen Umfang oder nur in seinen zwei oberen Quadranten in Grade geteilt. Über der Teilung bewegt sich eine Alhidade, die um den Mittelpunkt der Scheibe drehbar ist; somit lassen sich Winkelmessungen ausführen; das ist der vornehmlichste Zweck der Rückseite (des Rückens [*Zahr*]) des Astrolabs. Auf dem Rand der Vorderseite (des Gesichts [*Wagh*])

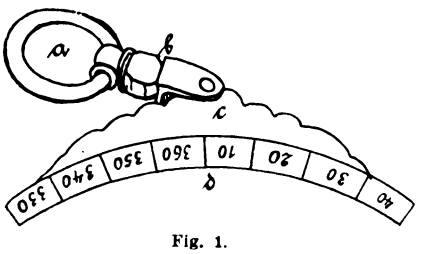


Fig. 1.

[1]) Eine ausführliche Besprechung des Lebens *Bîrûnîs* und seiner Werke haben gegeben: *E. Wiedemann* und *H. Suter* in *Beitr. LX. Sitzungsber. d. Phys.-Med. Soz. Erlangen. 52. 1920.*

[2]) Wir haben dank dem Entgegenkommen der Leydner Rijksbibliothek die Handschrift Warn. 591 (4), (no. 1066 des Katalog. Bd. 3. S. 94) benützen können. (Vgl. zu dem Werk u. a.: „Der Islam“ **4. 5.** 1913 und *E. Wiedemann: Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften XVIII. Sitzungsber. d. Phys.-Med. Soz. Erlangen. 41. 1. 1909.*)

[3]) Eine eingehende Besprechung dieser Aufgaben wird demnächst von J. Franck erscheinen.

steht senkrecht zu ihr ein in 360° geteilter flacher Ring (*Ḥugra*). In das Innere des Ringes, die Mutter, werden genau eingepaßte Scheiben eingelegt, die durch eine einfache Vorrichtung in ihrer Lage festgehalten werden. In ihren Mitten befindet sich ein kreisförmiges Loch, durch das eine Achse geht. Auf den Scheiben selbst ist ein System von Kreisen eingezeichnet, die die stereographische Projektion verschiedener Kreise auf der Himmelskugel sind, wie des Äquators, des Wendekreises des Krebses und Steinbocks, des Horizonts, der *Muqantara* (Höhenparallelen zum Horizont) und der Azimutalkreise für verschiedene Orte. Die Kreise werden von einem Pol des Äquators[1]) auf eine zu ihm parallele Ebene projiziert. Über der obersten Scheibe dreht sich eine weitere, die aber nicht voll, sondern durchbrochen gearbeitet ist und die wegen ihres Aussehens Spinne oder Netz heißt. Außer dem Randkreis, der aber nicht immer vollständig ist, trägt sie einen kleineren zum Mittelpunkt der Scheibe exzentrischen Kreis, die in gleicher Weise erfolgte Projektion der Ekliptik. An ihm und an kleineren und größeren Kreisbögen sind Spitzen befestigt, deren Enden die Projektion größerer Fixsterne darstellen. Ein durch den Anfang von Widder und Wage laufender gerader Streifen trägt in der Mitte einen kleinen Kreisring, dessen innerer Durchmesser gleich dem des Loches in den anderen Scheiben ist. Durch diesen Ring geht die Achse hindurch; so kann die Spinne über der obersten Scheibe gedreht werden. Dadurch kann die tägliche Bewegung des Fixsternenhimmels veranschaulicht werden und ist die mechanische Lösung der obenerwähnten Aufgaben ermöglicht.[2])

Wir wenden uns jetzt zur Besprechung der von *Bîrûnî* angegebenen Vorrichtungen.

Zunächst schildert *Bîrûnî* die Herstellung eines Kreises als Vorlage für die Konstruktion eines nach den Rektaszensionen zuteilenden Kreises, den „*Dastûr*[3]) der Kreise", und leitet dazu mit folgenden Bemerkungen von der Einleitung[4]) aus über:

Hast du dir diese theoretische Einführung durch eifrige Beschäftigung zu eigen[5]) gemacht, so beginne mit der Konstruktion des nördlichen Astrolabs, daran reihe die des südlichen, alsdann die der sich an diese beiden anschließenden Formen und endlich diejenigen der anderen Arten der Astrolabien. Allen gemeinsam ist die Konstruktion des *Dastûr* für die Kreise und des *Dastûr* der Durchmesser.

---

[1]) Ist dieser Pol der Südpol, so liefert die Projektion die Linien auf dem nördlichen Astrolab und ist er der Nordpol, so erhält man das südliche Astrolab.

[2]) In einer ausführlichen Arbeit wird der eine von uns (*Frank*) die Geschichte, Konstruktion und Verwendung des Astrolabs eingehend behandeln. Einzelne Fragen sind bereits behandelt bei *Frank, Sitzungsber. d. Phys.-Med. Soz. Erlangen. 51. 275. 1919.*

[3]) *Dastûr* hat eine große Anzahl von Bedeutungen; hier bezeichnet es „Vorlage" und zwar die Vorlage, nach der man Kreise bzw. Linien in bestimmter Weise teilt. Wir behalten das Wort „*Dastûr*" bei. Bei den Wasseruhren ist es der Kreis, auf dem sich die Ausflußöffnung des Wassers bewegt, damit die gleiche Wassermenge im Sommer und Winter während eines Tages oder einer Nacht ausfließt. Er bedeutet auch „Anzeichen", wie die folgende interessante Stelle (*Dozy*, Suppl. Bd. 1. S. 442) lehrt, die einem medizinischen Werk von *Schaqûrî* über „Katarrhalische Dysenterie" entnommen ist: „Und wisse, daß das Gewicht beim Wasser zu den erfolgreichen Anzeichen für die Erforschung des Wassers gehört". Leider wird, wie mir Herr Prof. Dr. *Juynboll* mitteilt, im arabischen Text hiervon keine weitere Erklärung gegeben. Ferner wird eine Art der Quadranten als *Dastûr* bezeichnet.

[4]) Eine Übersetzung der sehr interessanten Einleitung hat E. Wiedemann im *Weltall 20. 21. 1919* von Dr. C. Archenhold veröffentlicht.

[5]) d. h. der Leser soll sich mit allen Fragen, die mit der Projektionsfrage zusammenhängen, genau befassen.

I. Anfertigung des *Dastûr* für die Kreise.

Er besteht aus einem Ring aus Messing (Fig. 2), dessen Durchmesser gleich dem größten Scheibendurchmesser des Astrolabs ist. Die Teilung des Randes des Astrolabs geschieht, indem man diesen *Dastûr* benützt. Seine Breite ist gleich seiner Dicke (*Gilaz*, d. h. seinem *Samk*). Man macht ihn auf der Drehbank (*Gahr*, *Schahr*[1]) eben und so glatt wie möglich. Auf dem *Dastûr* beruht die ganze Konstruktion oder Anwendung des Astrolabs. Man teilt seine Fläche in vier Teile und jeden Teil wieder in 90, so erhält man 360 Teile.

Man kann dies aber erst dann ausführen, wenn man den Ring auf ein Brett befestigt und in seine Mitte eine erstarrende Substanz gebracht hat, die eine Verschiebung verhindert[2]), damit seine breite Fläche eben und in ihrer Erstreckung vollkommen bleibt (wohl keine Unebenheiten zeigt). Jetzt kann man den Mittelpunkt des *Dastûr* finden und die übrigen Konstruktionen an ihm ausführen. An den Anfang der einzelnen Quadranten schreibt man Ost, West, Nord, Süd, die je einander gegenüberliegen. Dies dient nur dazu, um die weiteren Ausführungen zu erleichtern. Jeden Quadranten teilt man in drei Teile für die Tierkreiszeichen, die je 30° enthalten, dabei zieht man Querlinien auf dem Ring, die man aber nicht einritzt, ehe man nicht die Teilung genau entsprechend den Aszensionen der sphaera recta[3]) hergestellt hat.

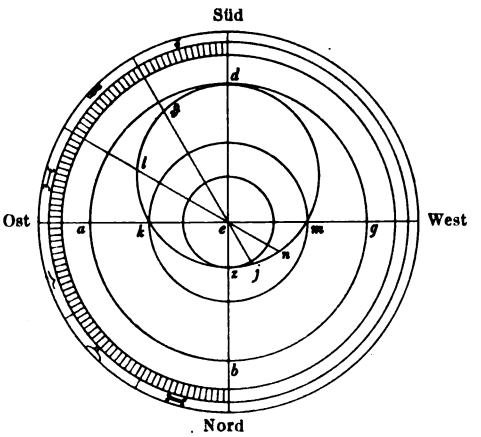


Fig. 2.

[1]) Das Wort findet sich 2. B. auch für Drehbank bei der Beschreibung, die *Ibn al Haitam* (Alhazen) von der Herstellung gibt, die er bei der Bestimmung der Brechung des Lichtes verwendet. (E. Wiedemann, *Wied. Ann. 21. 541. 1884.*)

[2]) Aus einer späteren Stelle geht hervor, daß die Mitte des Ringes mit Wachs oder Pech ausgegossen wird.

[3]) Die Aszensionen der sphaera recta (arabisch *Matâli' al Falak al mustaqîm*) spielen in der Astronomie eine bedeutende Rolle. Unter der ascensio der sphaera recta versteht man den Bogen des Äquators, der mit einem Bogen der Ekliptik in derselben Zeit aufgeht über einem Horizont, der senkrecht zum Himmelsäquator steht, also für einen Beobachter auf dem Erdäquator. Die Ebene dieses Horizontes geht durch die beiden Weltpole und schneidet die Himmelskugel in einem Kreis, einem Deklinationskreis (H) Fig. 3. Denken wir uns durch irgendeinen Punkt C (Grad) der Ekliptik den Deklinationskreis B gelegt, so schneidet er den Äquator in einem Punkt F ab. Der Kreisbogen auf der Ekliptik CD zwischen dem Horizont (Deklinationskreis H) und dem Deklinationskreis B erhebt sich in der gleichen Zeit über dem Horizont wie der Bogen OF des Äquators. Dieser Bogen ist die ascensio der sphaera recta für den Bogen CD der Ekliptik. Denken wir uns im Horizont z. B. den Anfang des Widders liegend, so ist der Bogen auf dem Äquator die Rektaszension des Punktes C in unserem Sinn. In der stereographischen Projektion werden die Deklinationskreise Gerade, die durch den Mittelpunkt der Scheibe, der Projektion des anderen Äquatorpoles, gehen. Der Horizont H wird die Ost-West-Linie $P'O'$, der Deklinationskreis B die Gerade B', die mit ersterer den gleichen Winkel bildet, den die Deklinationskreise H und B miteinander einschließen. Der von den Geraden auf dem Randkreis der Scheibe abgeschnittene Bogen ist also, in Graden gemessen, diesem Winkel gleich. Die Projektion von $C = C'$ liegt also

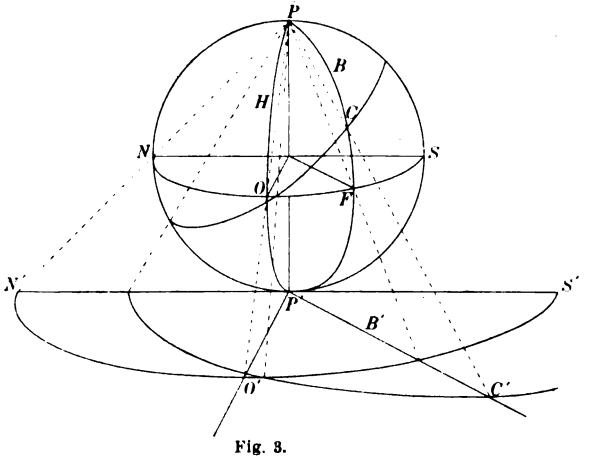


Fig. 3.

An diese schreibt man die Namen der Tierkreiszeichen und beginnt am Ostpunkt mit dem Widder nach dem Nordpunkt zu, bis man sämtliche Tierkreiszeichen angeschrieben hat. Hierauf teilt man die nach Osten zu gelegene Hälfte zwischen dem Süd- und Nordpunkt nach den Aszensionen der sphaera recta, dazu entnimmt man der (folgenden) Tabelle die Aszension eines Grades in der sphaera recta, zählt eine ihm entsprechende Größe von dem Ostpunkt nach Norden (auf dem Ring) ab und macht an dem Ende ein Zeichen; ebenso zählt man von dem Ostpunkt nach Süden. Der gefundene Punkt im Widder ist die ascensio des ersten Grades dieses Zeichens und derjenige im Fisch ist die ascensio des letzten Grades in ihm (dem Fisch). Ebenso verfährt man mit dem 2., 3. Grad usw., bis man die erwähnte Hälfte durchgeteilt hat, dann braucht man die zweite Hälfte nicht zu teilen.[1]) Nun ritzt man die Enden dieser Zeichen ein. Hierauf muß man großen Fleiß verwenden und die Arbeit genau prüfen, damit sich nicht ein Fehler einschleicht und eine Unrichtigkeit entsteht. Denn hierin liegt der Angelpunkt der ganzen Sache, und der größte Teil derselben neigt sich zu ihm hin (d. h. ist von ihm abhängig).

Dies ist eine Tabelle[2]) der Aszensionen in der sphaera recta für einen Viertelkreis unter der Voraussetzung, daß der Beginn der Zählung im Frühlingsäquinoktium liegt.

An dieser Stelle schiebt *Bîrûnî* einen längeren Abschnitt ein, in dem er schildert, wie man das Astrolab zum Auffinden von Tangenten bzw. Kotangenten verwenden kann. Hier sei nur bemerkt, daß gewöhnlich nur die Kotangenten über 45^0 und die Tangenten von 0—45^0 praktisch abgelesen werden. *Bîrûnî* konstruiert nur erstere, geht aber weit unter 45^0 herunter; die Konstruktion für die Tangenten wird nur angegeben.[3])

Unser Verfasser fährt dann fort:

Ist die Teilung des Ringes[4]) fertiggestellt, so nimmt man eine Platte aus hartem Holz, oder besser aus Kupfer, das nicht reißt, sich nicht bewegt, auch durch Feuchtigkeit oder Nässe nicht beschädigt wird. Sie soll über dem Ring der Länge und Breite nach vorstehen. Auf diese Platte legt man den Ring und nagelt ihn auf deren Fläche an 4 oder mehr Stellen fest[5]).

Den Mittelpunkt des Ringes bestimmt man, wie Euklid[6]) im dritten Buch seiner Elemente angibt. Auf der Platte zieht man die Ost-West- und die Süd-Nord-Linie und bringt in ihrem Mittelpunkt senkrecht zur Platte einen Nagel (Stift) von gleichmäßiger Dicke an; er ist etwas

---

sowohl auf der Geraden B', als auch auf der Projektion der Ekliptik, somit auf ihrem gemeinsamen Schnitt. Will man also umgekehrt den Punkt C' erhalten, so trägt man auf dem geteilten Randkreis die Rektaszension von C ab und projiziert den erhaltenen Endpunkt vom Mittelpunkt der Scheibe aus auf die Projektion der Ekliptik. Der Schnittpunkt ist C'.

[1]) Man nimmt die diametral gegenüberliegenden Punkte.

[2]) Die Tabelle trägt die Überschrift „Tabelle der Aszensionen in der sphaera recta für einen Quadranten der Sphäre". Ich gebe die Tabelle selbst nicht. Die Tabelle enthält in der ersten Kolumne die auf der Ekliptik gezählten Grade „*Darag al Sawâ'*" (vgl. C. Nallino, *Al Battânî* Bd. 2. S. 339), in der zweiten die Rektaszensionen, d. h. die Grade des Äquators (*Azman*-Zeiten, vgl. zu dieser Bezeichnung C. Nallino a. a. O. Bd. 3. S. 334; E. Wiedemann, Beiträge XXVIII S. 125). Eine solche Tabelle gibt *Battânî* (a. a. O. Bd. 2. S. 62—64). Die Aszensionen der sphaera recta sind aber bei ihm vom Anfang des Steinbocks an gerechnet, um sie mit den Zahlen von *Bîrûnî* zu vergleichen, die vom Anfang des Widders gerechnet sind, muß man 90^0 abziehen (vgl. auch die Bemerkungen von C. Nallino a. a. O. S. 221). Die Zahlen bei *Bîrûnî* und *Battânî* stimmen gut überein. Einzelne sind bei *Bîrûnî* um eine Minute, andere um zwei Minuten größer, noch andere um eine Minute kleiner. Es rührt dies von Vernachlässigungen bei der Rechnung her. Die Abweichungen zeigen aber, daß wir es mit zwei voneinander unabhängigen Tabellen zu tun haben.

[3]) Diese Ausführungen werden besprochen in E. Wiedemann und J. Frank „Über ein arabisches Astrolab".

[4]) Der Ring ist, wie sich aus dem Obigen ergibt, nach den Rektaszensionen der Tierkreiszeichen und deren Graden geteilt. Daneben benützt zu anderen Zwecken *Bîrûnî* auch einen in 360 gleiche Grade geteilten Kreisring, den er auch *Dastûr* der Kreise nennt (s. w. u.).

[5]) Mit „festnageln" ist hier „befestigen" gemeint.

[6]) Euklid lib. III Proposition I (Joh. Fr. Lorenz, Euklids Elemente. 43. 1824).

länger als die Platte dick ist. Auf seinem Kopf bezeichnet man einen Punkt, der genau dem eben ermittelten Mittelpunkt entspricht.

Für die Vorrichtung fertigt man eine Alhidade an. Dazu nimmt man eine Messingplatte, deren Länge den Durchmesser des Ringes um $1^1/_2$ Finger[1]) übertrifft. Ihre Dicke ist so groß, daß sie sich nicht biegen und nicht krümmen kann. Die Alhidade wird dann in der in Figur 4 angegebenen Weise zugeschnitten und die in ihrer Verlängerung durch den Mittelpunkt gehenden Ränder schneidenförmig (*musajjaf*) zugeschärft. Um den Mittelpunkt der Alhidade zieht man einen Kreis von solcher Größe, daß, wenn er ausgebohrt ist, das Loch sich gerade über den Stift (die Achse) in der Platte schiebt. — Damit ist man mit der Herstellung des *Dastûr* für die Kreise fertig.

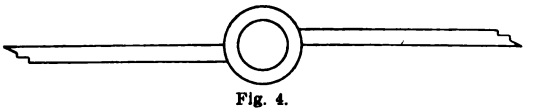


Fig. 4.

II. Anfertigung des *Dastûr* für die Durchmesser.

Wir beschreiben jetzt den *Dastûr* für die Durchmesser, dann wenden wir uns der Lösung unserer eigentlichen Aufgabe zu. Man nimmt eine viereckige Platte, die so fest ist, daß sie sich nicht biegt. Ihre Seite sei so groß, wie der größte bei der Konstruktion des Astrolabs vorkommende Durchmesser. Eine der Seiten teilt man in 120 Teile[2]), es ist die Zahl, auf die man sich bei der Konstruktion des Sinus geeinigt hat.[3]) Die gegenüberliegende Seite halbiert man und ritzt zwischen dem Halbierungspunkt und jedem Teilstrich des Durchmessers eine deutlich sichtbare Linie ein. Man kann auch eine Teilung in 60 Teile statt in 120 vornehmen. Die nebenstehende Fig. 5 gibt hiervon ein Bild. Über den Nutzen dieser Vorrichtung werde ich an entsprechender Stelle berichten. Wenn Gott will.

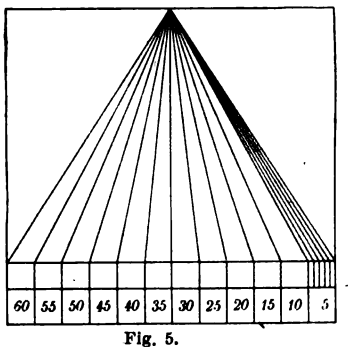


Fig. 5.

Die Verwendung dieses *Dastûr* der Durchmesser, oder wie er später auch heißt, *Dastûr* der *Muqantara* (Höhenparallelenkreise) ergibt sich aus folgendem: Aus Tabellen für die Radien der Projektion der zum Äquator parallelen Kreise berechnen sich in einfacher Weise die Radien der projizierten *Muqantara* für verschiedene Erhebungen über dem Horizont, dabei ist der Durchmesser des projizierten Wendekreises des Steinbocks beim nördlichen Astrolab gleich 60 bzw. 120 Teile gesetzt; dieser ist zugleich der Randkreis der Scheibe. Um diesen, der kleiner als die Seite des *Dastûr* sein muß, in 60 Teile zu teilen, gibt *Bîrûnî* folgende Vorschrift:

Ermittlung der verschiedenen Maßstäbe mit dem *Dastûr* der *Muqantara*. Hierzu kehren wir zu dem *Dastûr* der *Muqantara* zurück.

Aus ihm ermittelt man den Maßstab für die Größe, nach der man das Astrolab herstellen will. Es sei Fig. 6 z. B. das Quadrat *abgd* der *Dastûr* und *gd* die geteilte Seite, *e* ist der Punkt, von dem die Linien zu den Teilungspunkten gehen; *ez* ist das Lot, das die Seite *gd* halbiert. Wir wenden uns nun zu der gegebenen Scheibe, auf der sich der Wendekreis des Steinbocks befindet. Man nimmt den Radius dieses Wendekreises in den Zirkel, setzt seinen einen Fuß (Spitze) auf den Punkt *z* und den anderen dahin, wohin er auf den beiden Seiten, auf *g* und *d* hintrifft; es seien dies die beiden Punkte *h* und ϑ. Man nimmt dann $ej = zh$ und $ek = z\vartheta$, ferner zieht man *jh* und $k\vartheta$, die *eg* und *ed* in *m* und *l* schneiden. Dann zieht man *lm*. Infolge der Ähnlichkeit der Dreiecke ist (falls wir von *e* nach allen Teilungspunkten von *gd* Linien ziehen) *lm* in 60 Teile geteilt und damit der Durchmesser des gegebenen Wendekreises des Steinbocks. Es ist dies der Maßstab für dieses Astrolab. (Auf diesem Maßstab erhält man dann die aus den Tabellen gefundenen Längen der Durchmesser und damit diejenigen der Radien.)

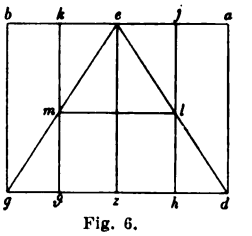


Fig. 6.

[1]) Es sind zusammengelegte Finger gemeint, die je etwa 2 cm messen.

[2]) In der Figur ist nur eine solche in 60 Teilen angedeutet.

[3]) Man teilt den Radius in 60 Teile, den Durchmesser in 120 Teile, so daß $\sin 90^0 = 60$ ist.

III. Über die Verwendung des *Dastûr* für die Kreise.

Der Nutzen des „*Dastûr* für die Kreise" liegt darin, daß man mit ihm allein (ohne Zuhilfenahme anderer Vorrichtungen) andere Kreise teilen kann und man dadurch Zeit erspart; dabei bewahrt er in hohem Maße vor dem Begehen von Irrtümern. Man füllt seinen Hohlraum mit Wachs oder Pech aus, die man in ihm schmilzt. Dabei bleibt eine so große Stelle frei, daß wenn man die Platte (des zuteilenden Kreises) mit ihrem Loch auf den obenerwähnten Stift aufsteckt, die Flächen (der Ringe und des Kreises) genau übereinstimmen.[1]) Die Kreisplatte, die groß oder klein sein kann, befestigt man dann sorgfältig mit Wachs oder Pech. Auf den Stift schiebt man die abgesetzte (*muharraf*) Alhidade.[2]) Ihren inneren Rand legt man nacheinander auf die Linien (Teilstriche) des *Dastûr* und zieht entsprechende Linien auf dem Kreis, dieser ist dann ebenso wie der *Dastûr* geteilt.

Dies ist der Fall, da die beiden Teilungen einander ähnlich sind und denselben Mittelpunkt haben.

Ebenso verfährt man, wenn ein Punkt auf irgendeinem Kreis gegeben ist und man von ihm aus einen Bogen abtragen will, dessen Verhältnis (zum ganzen Kreis und dessen Lage) zu diesem Punkt gegeben ist. Dazu steckt man den Kreis auf die Achse des *Dastûr*, dabei liegen deren Pole (Mittelpunkte) übereinander, und schiebt die Alhidade darüber. Ihren Rand legt man auf den betreffenden Punkt und macht entsprechend dort ein Zeichen. Dann greift man auf dem *Dastûr* von dem Zeichen aus einen Bogen entsprechend dem obigen Verhältnis nach der vorgeschriebenen Seite ab, verschiebt die Alhidade zu dem Ende dieses Bogens, legt den Rand der Alhidade auf dies Ende und zeichnet mit ihr eine Linie auf dem Kreis; damit ist die Aufgabe erledigt. — Es sei der *Dastûr* der Kreis *ab* (Fig. 7). Man steckt die Platte *gd* auf dessen Achse. Der Punkt *g* ist der gegebene. Man will nach links einen Bogen auftragen, der sich zum ganzen Umfang wie 1 : 5 verhält. Auf die Achse steckt man die Alhidade und legt ihren Rand auf *g*, auf dem *Dastûr* fällt er auf *a*. Von *a* zählt man nach links 72 Grade ab, d. h. ein Fünftel von 360°. Man kommt dabei nach *b* und legt den Rand der Alhidade auf *b*. Im Kreise *gd* fällt er auf *d*. Dort macht man ein Zeichen, *gd* ist dann ein Fünftel des Umfanges. So verhält es sich in jedem Fall. Dies ist leicht und nicht schwierig für uns.

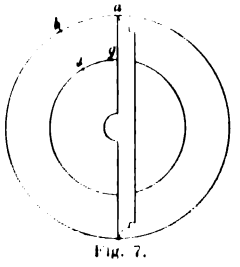


Fig. 7.

Hat der zu teilende Kreis *K* einen anderen Mittelpunkt als die Scheibe[3]) (exzentrisch), so zieht man auf der Platte einen Kreis K_1 von demselben Radius wie *K*, ohne ihn aber einzuritzen, und teilt ihn mittels des *Dastûr* in Grade. Sollen auf dem Kreis *K*, dessen Mittelpunkt außerhalb gelegen ist, ein Bogen oder bekannte Grade abgetragen werden, so nimmt man deren Betrag in den Zirkel an der betreffenden Stelle auf dem Kreis K_1 und trägt ihn mit dieser Zirkelöffnung auf dem Kreis *K* ab. Damit ist die Aufgabe gelöst.

Dies ist der *Dastûr*, auf dem die meisten Künstler bei ihrer Arbeit sich stützen. Er ist von großem Nutzen bei der Teilung des Randes des Astrolabs usw. Bei den Scheiben des Astrolabs ist es aber wichtig, daß man das Loch erst nachdem man mit dem Zeichnen sämtlicher Linien fertig ist, in ihnen anbringt, da man die betreffende Stelle vielleicht noch als den Mittelpunkt zu Konstruktionen braucht. Fehlt aber das Loch, so kann man sie nicht auf die Achse des *Dastûr* stecken, um den Umlaufskreis des Widders zu teilen. Auf ihm beruht aber die ganze Ausführung und vieles, was mit dem Anfang der Zahlen der *Muqantara* in Verbindung steht, d. h. die Konstruktion des Horizonts und der *Muqantara* (der Höhenparallelen), deren Abstand vom

[1]) Offenbar füllt man das Innere des Kreisringes mit soviel Wachs oder Pech an, daß die Oberfläche des zu teilenden Kreises, den man in das Innere des Kreisringes gelegt hat, mit der Oberfläche des letzteren genau in eine Ebene fällt.

[2]) Unter einer abgesetzten, abgeschnittenen (*muharraf*) Alhidade verstehen wir einen um eine Achse drehbaren Ring, an dem zwei Lineale so angesetzt sind, daß je eine Kante von ihnen in die Richtung eines Durchmessers fällt. Die anderen Kanten können entweder beiderseits dieses Durchmessers (Fig. 1) oder auf ein und derselben Seite liegen (Fig. 7). Mit der durch den Mittelpunkt gehenden Kante werden die Ablesungen gemacht, bzw. Durchmesser oder Teile von solchen gezogen.

[3]) d. h. liegt er exzentrisch, so daß man seinen Mittelpunkt nicht durch Überschieben über die Achse mit demjenigen des *Dastûr* zur Deckung bringen kann. Die Buchstaben *K* und K_1 haben wir eingefügt.

Äquator auf dem Projektionskreis des Widders von einem bestimmten Punkt aus gezählt werden, es handelt sich hierbei nur um die ganzen Grade und nicht um deren Bruchteile, es schließt sich das daran, daß bei dieser Konstruktion meist nur die ganzen Grade der Breite der Klimate zu berücksichtigen sind.[1]) Dieser Zahlen sind es sehr viele. Eine jede muß man sich immer wieder überlegen und wieder prüfen. Deshalb hat man einen anderen *Dastûr* der Kreise hergestellt, durch den die Arbeit ebenso erleichtert wird wie durch den ersten.

Man zeichnet auf ein ebenes, gleichmäßig dickes Messingstück einen Kreis K_1 und teilt ihn in Grade ein, soweit dies möglich ist.[2]) Durch jeden Grad zieht man den betreffenden Durchmesser. Soll nun ein Kreis K geteilt werden, so zieht man um den Mittelpunkt von K_1 einen nicht eingeritzten Kreis K_2 mit dem Radius von K, nimmt die betreffende Anzahl von Graden in den Zirkel und überträgt sie auf K.

Der Nutzen dieser verschiedenen *Dastûr* kommt nur dem in richtiger Weise zum Bewußtsein, der sich selbst mit der Kunst (der Herstellung des Astrolabs) beschäftigt und sich einige Zeit mit ihm abmüht. Unsere Ausführungen habe der Künstler in allen Einzelheiten berücksichtigt, ferner sei Messingteil auf Messingteil gelegt, nämlich die *Hugra* (s. oben) auf die Mutter, weiter sei alles durch Feilen, Drehen und Schleifen (*hakk*) ebengemacht und mit dem Zirkel mit gekrümmten (*mu'aqqaf*) Spitzen gerichtet, endlich sei die rohe Materie so hergerichtet, daß man auf ihr Zeichnungen anbringen kann. Dann hat man nur noch die Linien zu ziehen. Man teilt den Rand in 360 gleiche Grade; an sie werden oben die Fünfer angeschrieben. Man beginnt dabei mit der Stelle, die der Mitte des Himmels (s. unten) entspricht, die an dem Loch für die Aufhängung (*'Urwa*) sich befindet, nach rechts. Dann kehrt man die Mutter des Astrolabs auf den Rücken und teilt den linken Quadranten von dem *Kursî*[3]) in 90 gleiche Teile. Mit dem Schreiben der Fünfer beginnt man hier von links und steigt zu dem *Kursî* in die Höhe, bis man die Zahl 90 erreicht hat; dies ist gegenüber dem *Kursî* der Fall. Der Rücken des Astrolabs nimmt dann die beistehende Gestalt an.

Dann nimmt man eine Anzahl Scheiben und zieht auf allen einen Kreis von gleicher Größe, dessen Umfang beinahe den Rand der Scheibe berührt. Sie (die Scheiben) sind so groß wie das Astrolab. Wir nennen diesen Kreis den Wendekreis des Steinbocks. Diesen Kreis teilt man durch zwei sich im Mittelpunkt unter 90° schneidende Durchmesser in vier Teile, und zwar geschieht dies auf beiden Seiten der Platte, so, daß die Durchmesser einander genau gegenüberliegen. Dies ist nur mit dem zusammengelegten Lineal (*al Mistar al matnî*, d. h. Doppellineal) möglich. Dazu nimmt man zwei gleiche ebene Lineale, die sich so aufeinanderlegen lassen, daß ihre Flächen sich berühren und ihre Ränder aufeinanderliegen. An einem ihrer Enden verbindet man sie durch zwei Stifte. Bringt man eine ebene Fläche zwischen sie und legt ihren Rand auf den Mittelpunkt oder eine gerade Linie, verbindet ihre anderen Enden fest durch einen Ring oder einen Faden und zieht mit ihnen auf beiden Seiten der zwischen ihnen gelegten Scheibe Linien, so decken sich diese und unterscheiden sich nicht. Teilt man die obigen Scheiben mit diesem Doppellineal auf beiden Seiten in vier Teile, so kann man den zweiten Kreis auf der anderen Seite genau so mit Linien versehen wie denjenigen auf der ersten Seite, so daß sie sich genau decken. Wir nennen den einen Durchmesser Ost-West-Linie, die eine Hälfte des anderen Durchmessers Linie der Mitte des Himmels und die andere die des Pflocks (Zapfen *Watad*) der Erde.

IV. *Dastûr* für die Konstruktion der Kotangenten und Tangenten usw.

Um die Kotangenten und Tangenten zu konstruieren, benutzt man die Schatten der Leiter, die *Bîrûnî* auch als *Dastûr* bezeichnet. In dem einen unteren Quadranten der Rückseite des Astrolabs wird eine Teilung, wie die Fig. 8 zeigt, angebracht. Dabei sind die beiden Seiten des Quadrates $r\vartheta$ und rh z. B. in 12 „Finger“ geteilt. Man legt nun die Kante der einen Hälfte der Alhidade auf irgendeinen Teilstrich des Höhenkreises (ab) und sieht zu, auf welchen Teilstrich des Quadrates die Kante

---

[1]) Die obige Stelle haben wir sinngemäß frei übersetzt, da in der knappen Fassung *Bîrûnîs* sie ganz unverständlich wäre. Wegen der Einzelheiten sei u. a. auf die obenerwähnte Arbeit von J. Frank verwiesen.

[2]) d. h. wenn möglich in einzelne Grade, sonst in je 5°, je 10° usw.

[3]) Der *Kursî* ist das an das Astrolab oben angesetzte Stück c (s. Fig. 1).

der anderen Hälfte der Alhidade fällt, man erhält so die Kotangenten von 45° bis 90° und Tangenten von 0 bis 45°. In bezug auf alle Einzelheiten sei auf E. Wiedemann. Beiträge XVIII, *Sitzungsber. d. Phys.-Med. Soz.* **41**, *38ff. 1909* verwiesen.

Über das Ausschneiden (*Charq*) der Spinne und darüber, wie man sie in ein Netz verwandelt (*Taschbîk*).[1])

Wir schließen an die obigen Ausführungen *Bîrûnîs* über die Herstellung von Hilfsmitteln zur Teilung von Kreisen und Linien usw. noch diejenige über die Herstellung der Spinne an. Sie gibt uns einen trefflichen Einblick in die ganze Denkart *Bîrûnîs* und damit zahlreicher anderer Gelehrten, die sich ganz wesentlich von derjenigen der Antike unterscheidet. In den Beschreibungen der Gelehrten des Altertums tritt im allgemeinen das Persönliche sehr stark zurück, wir sehen von der Behandlung der Probleme durch die Mechaniker, wie Heron und Philon, und bis zu einem gewissen Maße durch Ptolemäus in der Optik ab, sie waren nach Ostwald „Klassiker", bei den Arabern dagegen empfinden wir in der Darstellung eine lebhafte Freude an dem wissenschaftlich und praktisch Erreichten, sie waren „Romantiker". Ob hier eine nationale Verschiedenheit vorliegt, mag dahingestellt bleiben; um Mißverständnisse zu vermeiden, sei aber erwähnt, daß gerade die größten „arabischen" Gelehrten, wie *ʿOmar al Chajjâmî, Bîrûnî* nicht semitische Araber, sondern Perser bzw. Leute aus Chiwa usw. waren.

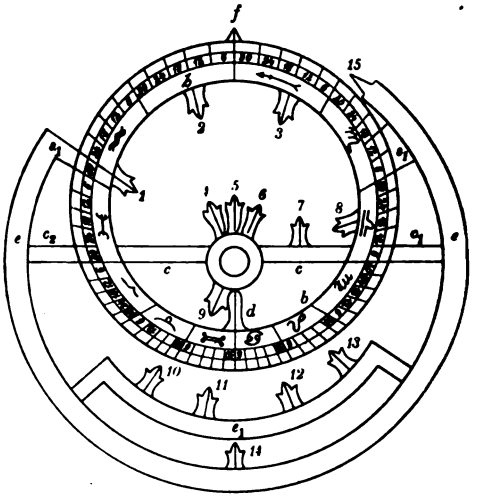


Fig. 9.

Verzeichnis der Sterne auf der Spinne des nördlichen Astrolabs.

1. „Die Schulter des Pferdes", β equi. 2. „Der fliegende Adler" (Althair), α, β, γ aquilae. 3. „Der Kopf des Schlangenträgers". α Ophiuchi. 4. „Der Nachreiter", α cygni. 5. „Der fallende Adler (Wega), α Lyrae. 6 „Die Krone" (Alfeta), α coronae. 7. „Der Unbewaffnete", α virginis. 8. „Der Speerträger", α Bootis. 9. „Der Unhold" (Algol), β Persei. 10. „Die beiden Hyaden" (Aldebaran), α tauri. 11. „Die [rechte] Hand des Orion", α Orionis. 12. „Der syrische Sirius", α Procyonis. 13. „Herz des Löwen" (Regulus), α leonis. 14. „Der jemenensische Sirius" (Sirius). 15. „Herz [des Skorpions]" (Antares), α scorpionis.

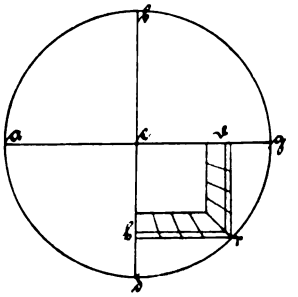


Fig. 8.

Wir wenden uns zum Ausschneiden und zum Abkratzen (*Tagarrad*) der Spinne. Dies muß geschehen, denn die Linien auf der Scheibe mit den Wendekreisen usw. müssen sichtbar sein und die Operationen, die auf der Spinne beruhen, abzulesen sein (es liegt die Spinne über der Scheibe). Da aber der zur Herstellung der Spinne verwendete Stoff (Metall) undurchsichtig ist, so muß man die Spinne ausschneiden und nur das, dessen man bedarf, stehen lassen; das aber, was ohne Nutzen ist, entfernen. Tut man dies unvorsichtig und ohne sorgfältige Überlegung der Verhältnisse, so lösen sich der Tierkreis und die die Sterne darstellenden Spitzen von ihrer Verbindung los und behalten nicht ihre richtige gegenseitige Lage. Daher muß man sich zunächst hiervor hüten.

[1]) Dieser Abschnitt kommt erst etwas später. In der Leidner Handschrift steht er auf S. 65a.

Die Spinne[1]) muß sich um die Achse der Scheibe drehen. Man läßt daher nur diese eine Platte *a* (*Fals*)[2]) stehen, Fig. 9. Um den Mittelpunkt des Tierkreises zieht man einen Kreis *b*, der kleiner als dieser selbst ist, damit man auf ihm zwischen den zwei Kreisen die Teile des Tierkreises ziehen und deren Namen schreiben kann. Wir verbinden diesen Kreis mit der Platte durch ein geradliniges Stück *c*, das man zwischen dem Widder und der Wage stehen läßt; dabei soll der nach dem Steinbock zu gelegene Rand des Stückes sich mit der Ost-Westlinie decken[3]) und soll sich in gerader Richtung außerhalb des Tierkreises bis zum Rand der Scheibe fortsetzen. Wir nennen dies Stück „Säule" (*ʿAmûd*). Man verbindet die Platte am Anfang des Krebses mit dem Tierkreis durch ein dünnes Stück *d*, das sich nicht über den Tierkreis hinaus erstreckt. Ebenso läßt man an dem Rand der Scheibe einen Bogen *e* (*Tauq*) stehen, der parallel dem Steinbockkreise liegt. Mit diesem ist die Säule *c* auf beiden Seiten (durch zwei Stücke c_1 und c_2) verbunden. Dann schneidet man diesen Bogen in der Nähe der Stellen, die in der Mitte des Skorpions und des Wassermanns liegen, ab und biegt sie nach innen um[4]). Durch diese (umgebogenen Stücke s_1) wird dieser Bogen mit dem Tierkreis verbunden. Ferner läßt man einen dem ersten Bogen *e* parallelen Bogen e_1 stehen, der sich innerhalb von ihm befindet. Er wird etwa gegenüber dem Ende des Widders und dem Anfang der Ähre (Jungfrau) abgeschnitten und an diesen Stellen nach außen umgebogen und mit dem ersten Bogen *e* verbunden[5]).

Dem Tierkreis der Platte *a* und den Bögen *e* und e_1 geben die Künstler Abmessungen[6]), die entsprechend den Graden auf der *Hugra* bemessen sind, wie sie dieses gerade für schön finden. Ein jeder hält etwas anderes für schön als das, was seine Gefährten schön finden, das ist bald mehr bald weniger der Fall, je nach den Umständen und Erfordernissen. Deshalb habe ich sie (d. h. genaue Maße) nicht angegeben. Die Augen werden immer fähiger zu unterscheiden (ob etwas schön ist) und zu erreichen, daß es (das Astrolab) gefällt und Geschmack zeigt, und zwar dadurch, daß man Neues erfindet und nicht dadurch, daß man nur (alte Vorlagen) nachahmt.

Mir ist es unter allen Umständen am liebsten, wenn der Tierkreis breiter ist als die Bogen, damit das Auge zwischen beiden (ohne weiteres) unterscheiden kann. Ferner ist es nötiger, auf dem ganzen für den Tierkreis bestimmten Ring Aufschriften anzubringen als auf den Bögen. Weiter ist es mir am liebsten, wenn die Säule *c* dünner ist als alle anderen Stücke und ebenso die Stelle, die die Verbindung zwischen dem ersten Bogen *e* und dem Tierkreis an der Umbiegungsstelle s_1 herstellt.

Könnten wir eine Methode finden, bei der der ganze Umfang (d. h. der geteilte äußere Rand) des Tierkreises sichtbar wäre und bei der nichts uns dessen Rand verbärge[7]), so würden wir sie energisch in Angriff nehmen; finden wir aber eine solche Methode nicht, so müssen wir eifrig danach streben, die Verbindungsstücke möglichst dünn und fein zu machen, damit die Stücke, die die (darunter befindlichen Linien der Scheiben) verdecken, möglichst klein sind. Haben wir das eben Geschilderte sorgfältig ausgeführt, so bringen wir die (Projektionen der) nördlichen Sterne im Innern des Tierkreises an. Wir schneiden die Ränder der (*Fals*) (*a*) und die Ränder der Säule (*c*) aus. Die südlichen Sterne werden an den beiden Bögen (*e* und e_1) angebracht.

---

[1]) Die Endgestalt der Spinne ergibt sich aus Fig. 9.

[2]) Die Buchstaben und Zahlen in der Figur stehen nicht im arabischen Text.

[3]) In der Figur ist es so gezeichnet, daß der dem Krebs zu gelegene Rand der Ost-Westlinie entspricht.

[4]) Eine Umbiegung zeigt die Figur auf der linken Seite; auf der rechten ist die Verbindung durch ein Zwischenstück s_1 hergestellt, über das der Bogen noch etwas herüberragt. Auf diesem Ende steht *Qalb* (Herz) es ist wohl zu ergänzen „*al ʿAqrab*" „des Skorpions".

[5]) Außer den eben beschriebenen Teilen der Spinne sind noch eine Anzahl von kleinen Spitzen, die sich an sie ansetzen, gezeichnet; diese Spitzen geben die Stellen an, auf denen diejenigen Sterne in der Projektion liegen, deren Namen auf den Ansatzstellen oder neben ihnen verzeichnet sind.

[6]) Hier ist die durchaus persönliche Schilderung und Behandlung der Herstellung der Spinne zu beachten.

[7]) *Bîrûnî* meint damit offenbar, daß die an den Rand des Tierkreises angesetzten Verbindungsstücke c_1, c_2, s_1 verhindern, die unter ihnen liegenden Linien der Scheiben zu sehen und an ihnen die augenblickliche Stellung derjenigen Grade des Tierkreiszeichens, an die die Verbindungsstücke anstoßen, abzulesen.

Für die Sterne, die auf den stehengebliebenen Stücken liegen, bohren wir ein kleines Loch an der Stelle, auf die der Stern projiziert ist. Dabei ist aber die Lage der Bögen und der Säule keine unabänderlich fest bestimmte, denn sonst wäre es nicht möglich, etwa die betreffenden Sterne von deren Oberfläche zu entfernen[1]). Der Künstler aber krümmt sie, biegt sie und gestaltet sie so, daß sie zu einander harmonisch passen, wobei er mit feinem Geschmack verfährt, um eine möglichst schöne Figur und ein möglichst vollkommenes und ähnliches Abbild zu erhalten. So macht der Künstler manchmal die beiden *Nasr*[2]) (Adler) zu zwei Vögeln; die Projektionen der Sterne liegen auf den Enden der beiden Schnäbel, ferner so, daß die Hand der Zwillinge (Arion) durch den Zeigefinger einer Hand dargestellt wird, die ihre Finger zusammenkrallt, und ebenso verfährt er bei den übrigen Sternen.

Dann teilt man die Scheibe aus und läßt nur eben soviel stehen, daß man ein Netz erhält. Dann schreibt man den Namen eines jeden Sternes auf das Stück, mit dem er mit dem Tierkreis bzw. den Bögen ε und ε_1 zusammenhängt. Den äußeren Rand des Tierkreises feilt man zu einer Schneide (*μαχαιρίον* einem Schwert) kegelförmig[3]) zu, um auf ihm die Teilung für die Tierkreiszeichen zu ziehen. An dem Anfang des Steinbocks läßt man einen vorspringenden Stift *f* (*Schazija* Hörner), der als Zeiger dient. Ferner bringt man an einer passenden, an sonst nicht benützten Stellen auf den Bögen einen Haken (*Mihrâk*) an[4]), den man anfaßt und mit dem man die Spinne dreht. Er springt vor, so daß zwei Finger ihn fassen können. Dann stellt man den Rücken der Athlabe [illegible] so daß diese zugeschärft oder vollkommen ist, mit zwei in ihren Mitten durchbohrten Klötzen (*Kubâ*), ferner die Achse und das Pferd[5]) (*Faras*) sowie den Ring. Jedes bringen wir an seine Stelle. Damit ist für uns das nördliche Astrolab durch die dazu unumgänglich nötigen Arbeiten vollendet.

Das Folgende ist ein Bild der nördlichen Spinne.

Bemerkung: Die einfachste Form der Spinne für das nördliche Astrolab gibt Fig. 9. Ganz ähnliche Spinnen finden sich auf zahlreichen noch erhaltenen Astrolabien. Bei manchen sind aber die Bögen und Verbindungsstücke auf das mannigfachste gebogen und verschnörkelt, vgl. z. B. *W. Morley, Description of a Planispheric Astrolabe 1856. Platte XVI.*

Eine ganz ähnliche Form hat die Spinne bei dem südlichen Astrolab. Anders ist dies bei Astrolabien, die aus einer Vereinigung des nördlichen und südlichen Astrolabs entstehen. Bei ihnen wird ein Teil der Tierkreiszeichen vom Südpol, ein anderer vom Nordpol aus projiziert. Dabei können die projizierten Tierkreise gleichen oder verschieden großen Kugeln zugehören. Die projizierten Stücke des Tierkreises hängen dann nicht mehr in allen Teilen zusammen, aus ihnen und den sie verbindenden Stücken, die manchmal in passender Weise gebogen sind, kann dann der Künstler die mannigfachsten Gestalten entstehen lassen. So zeigt die Spinne die Gestalt einer Quitte und eines Myrthenblattes, ferner diejenige eines Fisches, Krebses, Büffel- und Stierkopfs, einer Schildkröte, einer Muschel, eines Gefäßes für

[1]) *Biruni* meint, es ist im ganzen zweckmäßiger, wenn die Stellen, auf die die Sterne projiziert werden, nicht auf der Oberfläche der Bögen usw. liegen, da sie sich dann weniger leicht auf die verschiedenen Kreise der darunter liegenden Scheiben einstellen lassen. Sie würden aber gegebenenfalls stets auf die Bögen fallen, falls diese eine feste bestimmte Lage hätten.

[2]) Die Araber bezeichnen 2 Gestirne mit dem Namen *Nasr* oder Adler, nämlich *al Nasr al ta'ir* den fliegenden Adler, der aus mehreren Sternen von unserem Sternbild des Adlers besteht (Altair) und *al Nasr al waqi'* den fallenden Adler, α Lyrae, Wega.

[3]) Der äußere Rand des Tierkreisringes ist abgeschrägt. Auf dieser schiefen Fläche sind die Grade der Tierkreiszeichen gezeichnet. Der senkrechte Schnitt durch den Ring bildet einen abgestumpften Kegel.

[4]) An manchen Astrolabien sind statt des erwähnten Hakens ein oder mehrere Knöpfe angebracht.

[5]) Das Pferd ist ein Stift, der quer durch die Achse gesteckt wird, um sie festzuhalten; man gibt dessen Ende die Gestalt eines Pferdekopfes. Die Klötze mit ihren Löchern sind die Absehen, durch die die Sterne anvisiert werden.

Narzissen, eines Kruges, eines mit Silberpunkten versehenen Anemonenblattes, ferner von Bäumen und noch anderen als den oben erwähnten Tieren.

Aber auch noch ganz andere Gestalten, durch besondere Projektion, haben die arabischen Gelehrten der Spinne gegeben. *Vgl. Frank, Sitzungsber. d. Phys.-Med. Soz. 51. 275. 1919.*

Zusammenfassung.

1. Nach Bîrûnî werden Vorrichtungen beschrieben, um Kreise in bestimmter Weise zu teilen, bzw. gegebene Bögen auf ihnen abzutragen. Man hat hierin die einfachste Form der Teilmaschine bzw. des Transporteurs.

2. Wird eine Vorrichtung geschildert, um Strecken verschiedener Länge in vorgelegter Weise nach ein und demselben Maßstab zu teilen.

3. Wird ein zusammenklappbares Doppellineal beschrieben, um beide Seiten einer Scheibe in genau gleicher Weise zu teilen. Auch wird ein Zirkel mit gekrümmten Spitzen erwähnt, der wie an anderer Stelle hervorgeht, zum Ziehen von Kreisen auf Kugelflächen besonders geeignet ist.

4. Wird die technische und künstlerisch sehr interessante Schilderung der durchbrochenen Spinne des Astrolabs eingehend mitgeteilt.

Zusatz.

Zur Ergänzung der oben mitgeteilten Angaben über technische Hilfsmittel der Feinmechanik bei den Arabern fügen wir noch die folgenden hinzu. Sie finden sich in einer anonymen Berliner arabischen Handschrift (Spr. 1872, Ahlwardt-Katalog Nr. 5857) über Beobachtungsinstrumente gelegentlich der Behandlung der (zu astronomischen Betrachtungen dienenden) Kugel. Wahrscheinlich rührt dieses Kapitel von *Marrâkuschî* († etwa 1262) her, dessen Werk nach einer Pariser Handschrift von Sédillot vielfach benutzt wurde. (*Vgl.* H. Suter Nr. 363, Mathematiker usw., *Abh. z. Gesch. d. math. Wiss. X. Heft, 1900.*)

1. Führung eines sich drehenden Ringes und seine Arretierung.

Um gewisse astronomische Vorgänge darzustellen, dient folgende Vorrichtung:

Ein in Grade geteilter Ring R_1, dessen innerer Radius $= r$ und dessen äußerer $= r + b$ ist, dient als Horizont. An 2 diamentral gegenüberliegenden Stellen, die als Nord- und Südpunkt gelten, sind 2 rechteckige Einschnitte gemacht, deren Tiefe $= {}^1/_2\, b$, deren Weite gleich der Dicke von R_1 ist. Unterhalb R_1 wird senkrecht zu ihm an 2 um 90° von dem Nord- und Südpunkt abstehenden Punkten, dem Ost- und Westpunkt, ein Halbring R_2, von der Breite und Dicke des Ringes R_1 angelötet. In der Mitte von R_2 findet sich der gleiche Einschnitt wie in R_1. Der tiefste Punkt dieses Einschnittes ist von dem Mittelpunkt des Horizonts um $r + \frac{b}{2}$ entfernt. In diesen Einschnitten als Führung dreht sich ein in Grade geteilter Ring R_3 der als Meridian aufzufassen ist. Sein innerer Durchmesser ist r, sein äußerer $r + \frac{b}{2}$, seine Dicke gleich der Weite des Einschnittes. An 2 diametral gegenüberliegenden Stellen dieses Ringes ist ein Achsenlager so tief eingelassen, daß der Mittelpunkt der Achse in die eine Oberfläche von R_3 zu liegen kommt. Um die Achse selbst dreht sich eine Kugel, deren Radius etwas kleiner als r ist. Auf der Kugel sind Äquator, Ekliptik und eine Reihe von Sternen eingezeichnet. Um den Meridianring und damit die Kugel in jeder Lage gegen den Horizont festzustellen, wie sie Beobachtungen unter verschiedener Breite erfordern, sind auf der unteren Hälfte von R_3 in den Gradteilen Löcher gebohrt, in die die Spitze (*minqâr* = Schnabel) eines länglichen Metallstücks von beistehender Form eingreift Fig. 10. Je ein solches Metallstück ist bei dem Süd- und Nordpunkt des Horizonts um eine vertikale Achse drehbar angebracht. Wir haben also eine Arretierung, die *mâmsaka* genannt wird[1]).

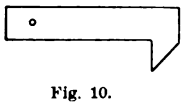


Fig. 10.

[1]) Wegen einer anderen Art der Führung eines sich drehenden Ringes sei verwiesen auf J. Frank, *Arch. f. Gesch. d. Med. u. Naturw. 1921.*

2. Verwendung der Drehbank zum Zeichnen von Kreisen.

Um auf der Kugel den Äquator bzw. den Tierkreis zu zeichnen, befestigt man die Kugel in den Polen dieser größten Kreise auf der Achse des „Instrumentes zum Drehen (*âlat al chart*)“ und zieht dann in gewöhnlicher Weise die Kreise. Ebenso kann man auch die Breitenkreise usw. konstruieren, wenn man die Lage ihrer Pole auf der Kugel kennt. Daß zur Herstellung verschiedener astronomischer Instrumente und physikalischer Apparate, wie der zur Bestimmung der Brechung des Lichts von *Ibn al Haitam* der Drehbank ähnliche Vorrichtungen benutzt wurden, geht aus verschiedenen Stellen hervor, dort heißt die Drehbank *schahar* (s. oben).

3. Ein Bogenmaß.

Zum Messen von Bögen größter Kreise auf einer Kugel dient ein in 90° geteilter Quadrantbogen, dessen Radius gleich dem der Kugel ist. Man legt diesen Quadranten längs des zu messenden Bogens an die Kugel und kann an dem Quadranten die Bögen unmittelbar ablesen. Legt man das eine Ende des Quadranten (den 90.°) z. B. auf das Zenit unseres Horizonts und den Quadranten durch den betrachteten Stern, so kann man an dem Quadranten die Höhe ablesen, während sein anderes Ende das Azimut liefert.

Kreisteilungen und Kreisteilmaschinen.

Von
Adolf Fennel in Cassel.

In seiner bekannten Abhandlung über Richtungsbeobachtungen und Winkelbeobachtungen hat Schreiber[1]) darauf hingewiesen, daß eine Erhöhung der Genauigkeit von Horizontalwinkelmessungen nur möglich sei, wenn es gelingen würde „bedeutend genauere“ Kreisteilungen herzustellen. Aus der damaligen Übersicht[2]) über die Teilungsfehler von 16 Theodoliten und Universalinstrumenten der Kgl. Preußischen Landesaufnahme ergibt sich als Mittelwert für den mittleren totalen Teilungsfehler 0,78″ und als Mittelwert für den mittleren, darin enthaltenen, unregelmäßigen Teilungsfehler 0,50″. Neuere Zusammenstellungen[3]), die bis zum Jahre 1912 reichen und sich ebenfalls nur auf Schrauben-Mikroskop-Theodolite und Universalinstrumente beziehen, lassen eine ausgesprochene Steigerung der Teilungsgenauigkeit seit 1879 nicht erkennen. Es wechseln vielmehr in dieser Zeit gute und weniger gute Teilungen dauernd miteinander ab. Diese Erscheinung ist auch nicht verwunderlich, da es sich immer um Kopien derselben Originalteilungen handelt. Selbst wenn es gelänge, die Fehler der Originalteilungen mit der Zeit genauer zu ermitteln, so sind anscheinend ihrer Berücksichtigung beim Auftragen der Teilung insofern Grenzen gesetzt, als durch das Einstellen der Korrektionen am Ablesemikroskop neue Fehlerquellen entstehen. Bei dieser Sachlage ist anzunehmen, daß auf dem Wege des Kopierverfahrens eine nennenswerte Steigerung der Genauigkeit von Kreisteilungen nicht mehr zu erzielen ist.

Dahingegen erscheint es nach neueren Untersuchungen[4]) aussichtsreich, die erstrebte Genauigkeitssteigerung mit Hilfe von völlig selbsttätig arbeitenden Kreisteilmaschinen zu erhalten. Es sollen daher nachstehend einige besonders für Fein-

---

[1]) *Zeitschr. f. Vermess. S. 128 u. 129. 1879.*

[2]) *Ebenda S. 119.*

[3]) Jordan, Handbuch der Vermessungskunde. 1907. Bd. III, S. 49. — *Zeitschr. f. Vermess. S. 12. 1903, sowie ebenda S. 450 u. 451. 1913.*

[4]) H. Bruns, Bemerkungen über die Untersuchung von Kreisteilungen. Leipzig 1912. — J. Spanuth, Untersuchung eines automatisch geteilten Kreises. Inaug.-Dissert. Leipzig 1913. — G. Förster, Untersuchung zweier Teilkreise usw. *Diese Zeitschr. 1913. S. 10.* — H. Bruns, Zur Untersuchung von Kreisteilungen. *Diese Zeitschr. 1920. S. 1.*

teilungen bestimmte, vom Verfasser konstruierte und in seiner Werkstätte (Firma Otto Fennel Söhne) gebaute, selbsttätig arbeitende Maschinen kurz beschrieben werden.

Auf der in Fig. 1 dargestellten Teilmaschine ist der Probekreis geteilt, über dessen Untersuchung Herr Prof. Dr. G. Förster in den Veröffentlichungen des Kgl. Preußischen Geodätischen Instituts, Neue Folge, Nr. 74, berichtet hat.

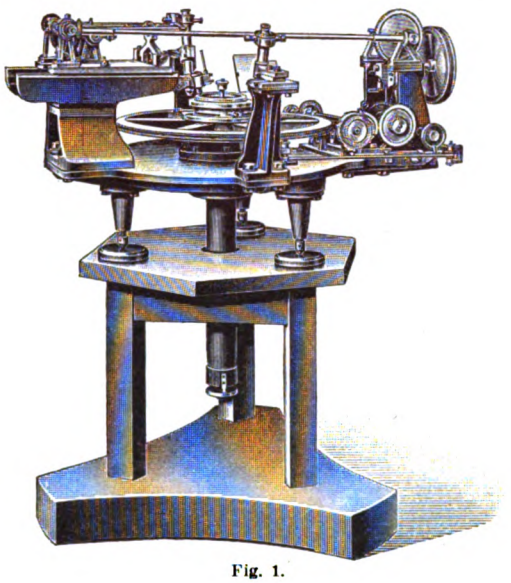


Fig. 1.

Diese Maschine ruht mit drei kurzen Füßen auf einem hölzernen Untergestell. In der Mitte der eisernen Grundplatte befindet sich die Buchse mit der Achse und dem Teilkreis, während links der Bock mit dem Reißerwerk, rechts der Mechanismus zum selbsttätigen Antrieb aufgebaut ist. Rechtwinklig dazu sitzen die beiden Ablesemikroskope. Diese Maschine war ursprünglich nur für Handbetrieb und zum Kopieren der Originalteilung eingerichtet. Die Antriebsvorrichtung zum automatischen Teilen wurde erst später angebaut. Man kann damit Teilungen in $^1/_3$, $^1/_6$ und $^1/_{12}$ Grad sexagesimal und in $^1/_2$, $^1/_5$ und $^1/_{10}$ Grad zentesimal ausführen. Der Teilkreis hat einen Durchmesser von 50 cm am Zahnkranze und ist mit 1080 Zähnen ($^1/_3{}^0$) versehen, in welche die Hohlschraube eingreift, die den Kreis bewegt. Der Antrieb erfolgt durch einen kleinen Elektromotor.

Nach den Untersuchungen von Prof. Dr. Förster betrug der mittlere totale Durchmesserfehler einer auf dieser Maschine erzeugten Teilung $\pm 0{,}70''$[1]), der mittlere darin enthaltene unregelmäßige Fehler $0{,}35''$[2]).

Um diese Zahlen richtig einzuschätzen, muß man sie in Vergleich ziehen mit den eingangs erwähnten Angaben über die Teilungsgenauigkeit einer Anzahl großer Schrauben-Mikroskop-Theodolite. Es ergibt sich danach, daß die Leistungen dieser 50 cm-Maschine über die Durchschnittsgenauigkeit dieser 16 Instrumente I. Ordnung hinausgeht. Es ist vielmehr die Genauigkeit der als vorzüglich bekannten Wanschaffschen Teilungen erreicht worden. Denn für diese ergibt sich aus der Aufstellung Heuvelinks *(Zeitschr. f. Vermess. 1913, S. 450 u. 451)* bei 31 verschiedenen Kreisteilungen, ausgeführt 1887—1912, der durchschnittliche Wert von 0,68″ für den mittleren totalen Teilungsfehler und 0,41″ für den unregelmäßigen, darin enthaltenen Fehler.

Alle Erfahrungen, die nun bei dem Bau der oben beschriebenen 50 cm-Teilmaschine in den Jahren 1907—1910 und weiterhin bei dem Bau einer 34 cm-Ma-

---

[1]) Es ist dies der quadratische Mittelmert der Durchmesserfehler [i +] auf Seite 41 der Försterschen Abhandlung.

[2]) Dieser Betrag berechnet sich aus dem mittleren unregelmäßigen Strichfehler von $\pm 0{,}49''$ zu $\pm \frac{0{,}49''}{\sqrt{2}} = 0{,}35''$ (Förster, S. 46).

schine[3]) im Jahre 1909 gemacht worden sind, haben volle Berücksichtigung gefunden bei dem Bau der nachstehend abgebildeten beiden Maschinen von 75 cm und 95 cm Kreisdurchmesser.

Dies gilt im besonderen in bezug auf die Anfertigung der Hohlschraube und die Herstellung der Kreisverzahnung. Es kann daher als sicher angesehen werden, daß diese beiden größeren Maschinen erheblich genauere Teilungen liefern als die erwähnte 50 cm-Maschine.

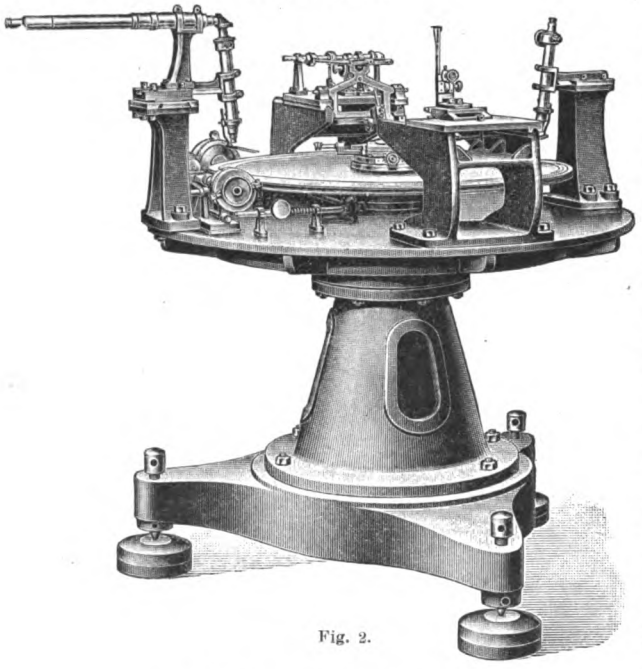


Fig. 2.

Ein Blick auf die Fig. 2 und 3 zeigt schon die größere Standfestigkeit und den massigeren Aufbau der größeren Maschinen im ganzen. Der schwere Dreifuß aus Eisenguß mit durchbrochener kegelförmiger Säule und der runden durch Rippen versteiften Grundplatte ist bei beiden Maschinen gleich. Die 75 cm-Maschine (Fig. 2) besitzt einen Vollkreis mit drei Silberstreifen, von denen zwei eine Teilung in $^1/_{12}{}^0$ sexagesimal tragen, während auf dem dritten eine Teilung in $^1/_{10}{}^0$ zentesimal aufgetragen ist. Diese Teilungen sind im Jahre 1904 von der Wanschaffschen Teilmaschine kopiert, die sich im Besitze der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg befindet. —

Am Rande des Kreises sind zwei Verzahnungen in $^1/_3{}^0$ sexagesimal und in $^1/_5{}^0$ zentesimal eingeschnitten. Es können daher sowohl Teilungen in $^1/_3{}^0$, $^1/_6{}^0$, $^1/_{12}{}^0$ sexagesimal als auch in $^1/_5{}^0$ oder $^1/_{10}{}^0$ zentesimal auf dieser Maschine erzeugt werden. Auf der Grundplatte sitzen diametral gegenüber zwei aus Eisenguß hergestellte Böcke, von denen der eine das Reißerwerk, der andere den Fühlhebel zum Zentrieren der zu teilenden Kreise trägt. Das Reißerwerk zeichnet sich durch Einfachheit und sehr übersichtliche Bauart aus. Rechtwinklig zu den Böcken, und ebenfalls diametral gegenüber, befinden sich die Mikroskopständer mit den beiden Ablesemikroskopen. Das links sichtbare Mikroskop ist so eingerichtet, daß ein Beobachter einen genügenden Abstand von der Maschine einhalten kann, um den Einfluß seiner Körperwärme unschädlich zu machen. Die Hohlschraube zur Drehung des großen Teilkreises liegt unter diesem Mikroskop. Die Bewegungsmechanismen zum selbsttätigen Teilen sind so angeordnet, daß sie sich im wesentlichen der runden Form der Tischplatte anpassen. Sie liegen teilweise zwischen der Grundplatte und dem Teilkreis. Die in der mehrfach erwähnten Försterschen Abhandlung, Seite 5 und 6, ange-

[3]) Diese kleine Maschine, die mit einem einfacheren Antriebsmechinismus ohne Einrichtung zur Ausschaltung der Hohlschrauben- und Zahnradfehler versehen ist, liefert Teilungen, deren mittlerer totaler Durchmesserfehler etwa 1,7″ beträgt, wie aus den Untersuchungen von Dr. Klempau (Der Landmesser, 1914, S. 292) und Prof. Dr. Wandhoff (Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, 1913, S. 10) hervorgeht.

führten Einrichtungen zur Tilgung der Hohlschraubenfehler und der groß-periodischen Fehler der Verzahnung sind auch an dieser Maschine vorhanden. Ihr Bau wurde 1903 begonnen und bis Ende 1904 soweit gefördert, daß durch Kopieren Teilungen hergestellt werden konnten. Die Einrichtungen zum automatischen Arbeiten der Ma schine wurden erst später (1911—1914) angebracht.

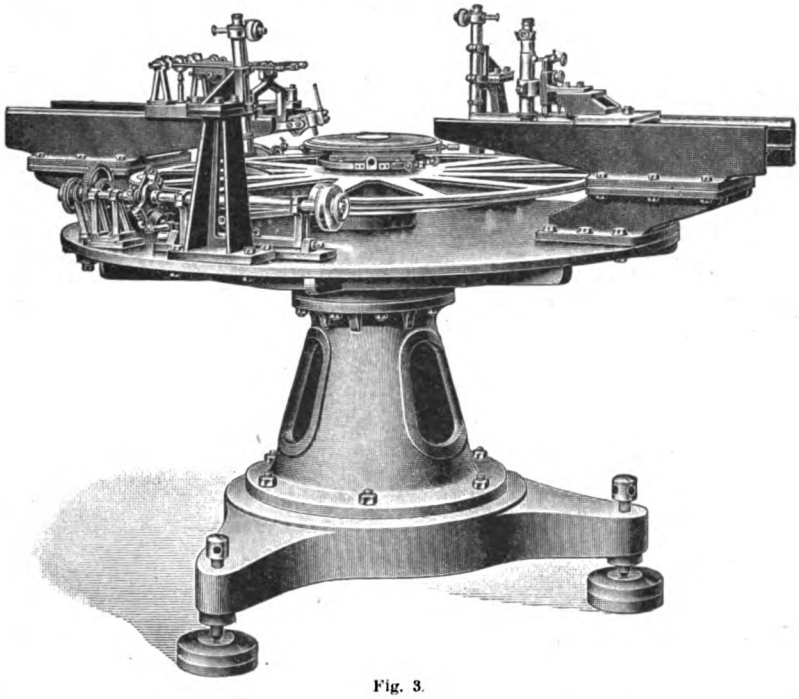


Fig. 3.

Die 95 cm-Teilmaschine (Fig. 3) unterscheidet sich von der eben beschriebenen Maschine im wesentlichen durch den größeren mit 12 Speichen versehenen Teilkreis, in dessen Rand 2 Silberstreifen eingelassen sind. Einer dieser Silberstreifen trägt eine Teilung in $^1/_{12}{}^0$ sexagesimal, die im Jahre 1912 von der Firma Max Hildebrand, Freiberg, aufgetragen ist. Die Anordnung der Hauptteile ist im großen und ganzen dieselbe wie bei der 75 cm-Maschine. Es stehen sich wiederum auf der runden Grundplatte zwei Böcke gegenüber, von denen der linke das Reißerwerk, der rechte den Fühlhebel zum Zentrieren der Kreise trägt. Rechtwinklig dazu sind die beiden Ablesemikroskope aufgebaut. Die Hohlschraube zur Bewegung des Kreises liegt unter dem einen Ablesemikroskop. Sie greift in einen Zahnkranz von 2160 Zähnen ein, so daß also eine Umdrehung der Schraube einer Drehung des Kreises um $^1/_6{}^0$ entspricht. Die Einrichtungen zum selbsttätigen Arbeiten der Maschine sind zum Teil links der Hohlschraube sichtbar, teils sind sie durch den Bock, der das Reißerwerk trägt, verdeckt. Letzteres ist genau gleich dem Reißerwerk der vorerwähnten 75 cm-Maschine. Der Bau dieser 95 cm-Maschine wurde Anfang 1911 begonnen und gegen Ende 1920 vollendet.

Ziffernmäßige Angaben über die Teilungsgenauigkeit der beiden beschriebenen größeren Maschinen sollen veröffentlicht werden, sobald einwandfreie Untersuchungen hierüber vorliegen.

Muß bei ballistischen Eichspulen auf die magnetische Schirmwirkung Rücksicht genommen werden?

Von

H. Greinacher in Zürich.

Um die ballistische Konstante eines Galvanometers zu bestimmen, kann man in bekannter Weise[1]) ein durch elektromagnetische Induktion erzeugtes Integral elektromotorischer Kraft verwenden. Dieses erhält man mit Hilfe einer einlagigen Stromspule, über welche eine Sekundärspule geschoben ist, die dann über das ballistische Galvanometer geschlossen wird. Durch Schließen (Öffnen, Kommutieren) des primären Stromes wird die Anzahl der Kraftlinien geändert, und man erhält an den Enden der Sekundärspule ein berechenbares Integral elektromotorischer Kraft $\int e dt$. Das Integral des durch das Galvanometer fließenden Stromstoßes oder die gesamte entladene Elektrizitätsmenge ist dann

$$\varepsilon = \int i dt = \frac{1}{w} \int e dt,$$

wo w den Gesamtwiderstand des Galvanometerstromkreises bedeutet. Die ballistische Konstante C berechnet sich aus dem Ausschlag α zu $C = \frac{\varepsilon}{\alpha}$.

Es erhebt sich die Frage: Ist es notwendig, Primär- und Sekundärspule auf einen Isolator (etwa ein Papprohr) zu wickeln, oder kann man auch ohne methodischen Fehler ein Metallrohr nehmen? Bekanntlich dürfen bei Herstellung von Induktoren und Transformatoren keine kompakten metallischen Massen verwendet werden. Auch ist der unumgängliche Eisenkern unterteilt. Wirbelströme und die durch sie bedingte magnetische Schirmwirkung sind möglichst zu vermeiden. Umgekehrt wird bei den bekannten kleinen Elektrisier- (Induktions-) apparaten die Schirmwirkung benützt, um die Intensität des Sekundärstromes herabzusetzen. Dies geschieht in regulierbarer Weise durch das mehr oder weniger tiefe Einschieben eines Messingrohres zwischen Primär- und Sekundärspule.

Genau dieselbe Anordnung hat man nun, wenn man über eine Strom-Eichspule eine auf Metallrohr gewickelte Sekundärspule schiebt. Da es sich auch hier um einen Induktionsvorgang handelt, so kann man sich die Frage stellen, ob der ballistische Ausschlag des Galvanometers durch das Metallrohr beeinflußt wird, ob also die Schirmwirkung vermieden werden muß.

Im Prinzip haben wir einen Transformator mit zwei Sekundärspulen, wovon die zweite kurzgeschlossen ist. Bezeichnen wir die drei Spulen mit 1 (Primärspule), 2 (Sekundärspule) und 3 (Metallrohr). Nehmen wir 2 der Einfachheit halber aus einer Windung bestehend an, so ist die momentane EMK $e = \frac{dN}{dt}$, wo N die durch 2 hindurchgehende Kraftlinienzahl bedeutet. Es ist also, wenn bei Dauerstrom in 1 N Kraftlinien vorhanden sind und nach Öffnen des Stromes in 1 die N Linien verschwunden sind, das Integral $\int_0^\infty e dt = N$. Darnach ist der ballistische Ausschlag des Galvanometers nur von Anfangs- und Endzustand abhängig. Welches das Gesetz ist, nach

[1]) F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, § 109.

dem die N Kraftlinien verschwinden, ist ganz gleichgültig. Die Anwesenheit der Spule 3 ist ohne Belang. Wohl werden in 2 und 3 gleichzeitig Ströme induziert. Der Induktionsstrom in 3 sucht dabei den Strom in 2 zu schwächen. Die Abnahme der Kraftlinienzahl $\frac{dN}{dt}$ wird hierdurch verlangsamt. Der Endzustand ist aber derselbe. Er wird nur nach etwas längerer Zeit erreicht. Solange diese Zeit im Verhältnis zur Schwingungsdauer des Galvanometers klein bleibt, ist auch der ballistische Ausschlag unbeeinflußt.

Man kann das Resultat noch etwas einläßlicher darstellen. Es ist während des Induktionsvorganges

$$e = \frac{dN}{dt} - M\frac{di'}{dt},$$

wenn M den gegenseitigen Induktionskoeffizienten zwischen 2 und 3 und i' den Induktionsstrom in 3 bedeuten. Man hat

$$\int_0^\infty e\,dt = N - Mi'\Big]_0^\infty.$$

Da i' am Anfang und am Ende Null ist, so verschwindet das zweite Integral.

Nach allem ist nun ohne weiteres ersichtlich, daß man auch 1 auf Metall wickeln kann, denn dieses spielt dann eben wieder die Rolle von 3. Die Frage, ob das Metallrohr aus Eisen bestehen darf, muß prinzipiell bejaht werden. Die Einwirkung von 3 auf 2 wird hierdurch zwar erhöht. Der Anfangs- und Endzustand ist aber derselbe wie ohne Eisen. Die Größe des remanenten Magnetismus wird immerhin von Intensität und Verlauf des Stromes in 2 abhängig sein können. Demgemäß wäre dann nach Stromöffnen in 1 eine gewisse unbekannte Kraftlinienzahl übrig. Die Verwendung ferromagnetischer Körper ist aus diesem Grunde für Eichzwecke nicht mehr zulässig, wenn auch prinzipiell die Permeabilität von 3 keine Rolle spielt.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß die Unschädlichkeit der Schirmwirkung für den vorliegenden Fall auch bei Spulen auf Isolatoren implizite vorausgesetzt wird. Besteht 2 wie gewöhnlich aus mehreren Windungen, so sind die Induktionsvorgänge in den einzelnen Windungen infolge der gegenseitigen Induktion nicht mehr unabhängig voneinander. Nach dem Gesagten ist dies aber ohne Einfluß auf $\int e\,dt$.

Das Resultat, daß die elektrodynamische Schirmwirkung die ballistische Eichung nicht beeinflußt, konnte sehr schön mittels eines kleinen Transformators mit dre gleichen Spulen gezeigt werden. Wurden über Spule 1 4 Volt Gleichstrom geschlossen, so war der ballistische Ausschlag durch Spule 2 genau derselbe, ob Spule 3 offen oder kurzgeschlossen war. Daß aber kräftige Schirmwirkung vorhanden war, ließ sich auf folgende Weise dartun. Durch 1 wurde Wechselstrom von 50 Perioden gesandt. 2 war mit einer Glühlampe verbunden. War 3 offen, so leuchtete die Glühlampe hell auf war 3 kurzgeschlossen, so erlosch sie fast vollständig.

Über Spektralapparate und Monochromatoren für Untersuchungen im sichtbaren und U.-V.-Gebiet.

Von
Carl Leiss in Berlin-Steglitz.

I. Apparate für Untersuchungen im sichtbaren Gebiet (D.R.G.M.).

A. Spektralapparat für chemische Analysen mit konstanter Ablenkung und Wellenlängentrommel (D.R.G.M.).

Der nachfolgend kurz beschriebene Spektralapparat ist unter dem Gesichtspunkt entstanden, für chemische Analysen mittelst des Emissions- und Absorptionsspektrums an Stelle des bekannten und weitverbreiteten, seit Jahrzehnten so gut wie unverändert gebliebenen Spektralapparates nach Kirchhoff-Bunsen, ein Hilfsmittel zu besitzen, das bei mäßigen Anschaffungskosten wesentlich höheren Ansprüchen genügt, wie der vorgenannte bisherige Apparat.

Beschreibung: Optischer Teil. Als Dispersionssystem dient das von E. Abbe in Vorschlag gebrachte Prisma mit konstanter Ablenkung von 90°. Die Größe des Prismas ist so bemessen, daß die freie oder nutzbare Öffnung der beiden Fernrohrobjektive voll ausgenutzt und auch die äußeren Randstrahlen vom Prisma noch aufgenommen werden können. — Die sonstigen wichtigeren optischen Daten sind in der folgenden Zahlentafel gegeben:

Dispersion des Prismas zwischen C—F	Brennweite der Fernrohrobjektive	Nutzbare Öffnung der beiden Fernrohrobjektive	Vergrößerung des Beob. Fernrohres
2° 13′	160 mm	20 mm	+ 8

Die Dispersion des Prismas in Verbindung mit der Vergrößerung des Fernrohres genügt, um die Na-Linie deutlich in ihre beiden Komponenten zu zerlegen.

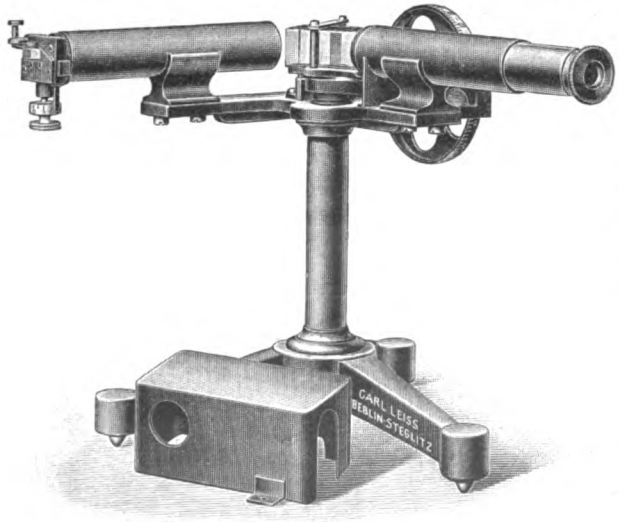


Fig. 1. Spektralapparat für chemische Analysen, mit konstanter Ablenkung und Wellenlängentrommel (D. R. G. M.)

Mechanischer Teil. Beide Fernrohre stehen unter einem Winkel von 90° zueinander. — Aus- und Eintrittsspalt sind symmetrisch und mit Meßvorrichtung versehen. Ein Strichteil an den Meßvorrichtungen gibt 0,1 mm an; das $^1/_{20}$ mm kann aber noch sehr sicher geschätzt werden. — Die Bewegungsvorrichtung für das Dispersionssystem besitzt eine 10 cm große, mit Wellenlängenteilung versehene Trommel, welche das Gebiet von etwa 430 $\mu\mu$ bis 720 $\mu\mu$ umfaßt. Über die Art der Einteilung und die Genauigkeit der Einstellung gibt folgende Zahlentafel Aufschluß:

Spektralgebiet in $\mu\mu$	1 Strichteil auf der Trommel $= \mu\mu$	Mittlere Größe eines Strichteiles auf der Teiltrommel in mm
720—650	20	1,2
650—600	20	1,3
600—500	10	1,1
500—430	10	1,7

Verwendung des Spektralapparates als Monochromator. Durch Beigabe eines zweiten Spaltes, welcher an Stelle des Beobachtungsokulares in das Fernrohr eingeschoben wird, kann der Spektralapparat auch in außerordentlich bequemer Weise als Monochromator dienen.

Nachprüfung und Berichtigung des Apparates. Zur Nachprüfung und Berichtigung des Apparates bedient man sich am besten entweder des Sonnenlichtes oder künstlicher Lichtquellen wie z. B. Na-Licht (589,3 $\mu\mu$) oder H-Licht ($C = 656{,}3\ \mu\mu$, $F = 486{,}1\ \mu\mu$, $G' = 434{,}1\ \mu\mu$). Zeigt sich bei der Einstellung der Wellenlängentrommel auf die zur Berichtigung dienende Absorptions- oder Emissionslinie eine Abweichung, so ist weiter nichts zu tun, als das im Fernrohr diagonal stehende Fadenkreuz auf die betreffende Spektrallinie genau einzustellen und nun unter Festhalten des Drehknopfes für die Teiltrommel die letztere auf ihrer Achse zu drehen, bis der betreffende Teilstrich (z. B. 486,1 $\mu\mu$) mit dem Zeiger (Index) zusammenfällt. Die Teiltrommel ist so auf die Schraubenachse aufgepaßt und durch Federung gesichert, daß sie sich mit genügender Reibung — ohne ihre Lage zu verändern — drehen läßt.

B. Monochromator für Untersuchungen im sichtbaren Gebiet (D.R.G.M.).

Einleitung. Zur Beleuchtung mit homogenem Licht bestimmter Wellenlänge haben sich die zur Gattung der „festarmigen Spektralapparate" gehörigen Instrumente am besten bewährt. Der nachstehend kurz beschriebene, in verschiedenen Größen ausführbare Monochromator schließt sich im Prinzip demjenigen an, wie er von mir in dieser Zeitschrift Jahrg. 29. S. 68. 1909. beschrieben wurde. Alle Verbesserungen und Vervollständigungen, die sich an diesem weit verbreiteten Instrument im Laufe der Zeit im praktischen Gebrauch als wünschenswert herausgestellt haben, sind in der nachstehend kurz beschriebenen Neukonstruktion berücksichtigt. Zunächst hat sich die Art der Anordnung der Wellenlängentrommel mit Spiralnut des früher beschriebenen Apparetes — nach dem Vorgang von A. Hilger ausgeführt — im praktischen Gebrauch als nicht besonders günstig erwiesen. Auch die Ablesung der besonders im langwelligen Gebiet recht nahe beieinander liegenden Teilstriche ist bei den bisherigen Abmessungen beschwerlich. Der bei der bisherigen Anordnung zulässige größte Durchmesser der Trommel beträgt etwa 4 cm. Er ist nun bei dem neuen Apparat auf mindestens 8 cm erhöht worden und kann beliebig gesteigert werden. Den Mechanismus für das Prisma habe ich so umgestaltet, daß die Wellenlängentrommel nicht mehr zwischen den beiden Rohren, sondern, wie Fig. 3 zeigt, außerhalb der beiden Rohre und zwar rechts vom Rohr des Austrittsspaltes liegt. An dieser Stelle ist nicht nur die Ablesung der Trommel, sondern auch die Handhabung des Apparates eine wesentlich günstigere. — Eine weitere Verbesserung ist die Anbringung von Teiltrommeln an den Stellschrauben der beiden Spalte. Für exakte Arbeiten ist es außerordentlich wichtig, die genaue Größe der Spaltöffnungen zu kennen, weil von der Größe derselben naturgemäß das Maß der Homogenität des

austretenden Lichtes abhängt (s. S. 245). — Für eine weitgehendere Verwendung des Apparates hat auch die Stativeinrichtung Verbesserungen erfahren, die weiter unten erläutert sind.

Beschreibung des Apparates. Die Strahlenführung für die Beleuchtung des Eintrittsspaltes sowie auch für die Beleuchtung des Untersuchungsapparates ist sehr exakt durchgeführt, so daß alle in den Eintrittsspalt eintretenden Strahlen vom Kollimatorobjektiv aufgenommen werden und auch die aus dem Austrittsspalt austretenden Strahlen in den Untersuchungsapparat gelangen. — Das Dispersionsprisma ist bei allen Modellen so groß gewählt, daß die Öffnung der Objektive auch wirklich voll ausgenutzt wird. Fig. 2 zeigt das auch bei diesem Monochromator zur Anwendung kommende bekannte Prisma nach E. Abbe in der Gebrauchsstellung. Die eingezeichneten Randstrahlen lassen sofort erkennen, wie groß im Maximum die nutzbare Objekttivöffnung bei der gezeichneten Prismengröße sein kann. Die Fläche AB, beim Modell A — etwa 42 mm lang — ist als die erste brechende Fläche eines 60°-Prismas zu betrachten.

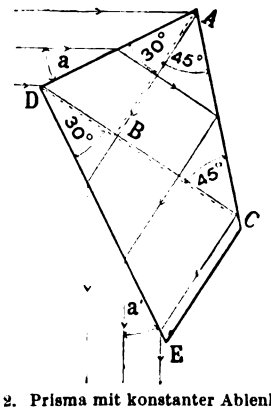


Fig. 2. Prisma mit konstanter Ablenkung von 90° (nach Abbe) zum Gebrauch an festarmigen Spektralapparaten und Monochromatoren, in der Gebrauchsstellung. Winkel α zwischen den beiden brechenden Flächen AD und DE sowie den parallel ein- und austretenden Strahlen 27° 30', wenn n_F des Prismas = 1,774 ist. — Das Prisma ist als aus drei Prismen bestehend zu betrachten, den beiden 30°-Prismen und den totalreflektierenden Prismen ABC. — Die einbezeichneten ein- und austretenden Randstrahlen geben das Maß der nutzbaren Objektivöffnung an.

Mechanischer Teil. Die Rohre stehen unter einem Winkel von 90° zueinander.

Aus- und Eintrittspalt E und A. Beide sind symmetrisch. Ein Strichteil an den Trommeln der Einstellschrauben gibt 0,1 mm an.

Bewegungsvorrichtung für das Dispersionssystem. Die Teiltrommel T für die Bewegung des Dispersionssystems besitzt eine Wellenlängenteilung, welche das Gebiet von 388,8 $\mu\mu$ bis 722,4 $\mu\mu$ umfaßt. Der Drehknopf für die Teiltrommel liegt innerhalb der Trommel. — Die Genauigkeit der Einstellung beträgt durchschnittlich etwa 0,2 $\mu\mu$ und dürfte als ausreichend zu betrachten sein.

Stativ. Dieses Stativ ist so eingerichtet, daß der Monochromator innerhalb größerer Grenzen, wie es bisher möglich war, hoch und tief gestellt werden kann. Außerdem ist die Einrichtung getroffen, daß der Monochromator — wie dies für gewisse Untersuchungen erforderlich ist — auch so auf die Säule des Stativs aufgeschoben werden kann, daß der Austrittsspalt horizontal liegt. Zu diesem Zwecke wird dem Stativ ein besonderer hoch- und tiefstellbarer Halter beigegeben, auf den der Monochromator aufgeklemmt werden kann. — Beim Gebrauch des Monochromators in dieser Stellung, bei der also der Hauptschnitt des Apparates senkrecht steht, kann für die Beleuchtung des Eintrittsspaltes auf das Ende des Beleuchtungsrohres ein total reflektierendes Prisma aufgesteckt werden. Dieses Prisma kann übrigens auch verwendet werden, wenn bei senkrecht stehenden Spalten die Lichtquelle aus räumlichen oder sonstigen Gründen nicht in der verlängert gedachten Achse des Kollimatorrohres, sondern rechtwinklig dazu aufgestellt werden muß.

Optischer Teil. Die wichtigsten Konstruktionsdaten und sonstige Angaben für die Bewertung der optischen Leistung der verschiedenen Modelle sind aus folgender Zahlentafel zu ersehen:

Modell	f der Objektive in mm	Öffnungsverhältnis[1])	Dispersion zwischen C—F	Ausschnitt aus dem Spektrum bei einer Öffnung des Austrittsspaltes von 0,5 mm bei den Linien (etwa)
A	160	1 : 7	ca. $3^1/_4{}^0$	$C = 13$ $\mu\mu$ $D = 10$ „ „ $F = 5$ „ „ $G' = 3$ „ „
B	160	1 : 5	ca. $3^1/_4{}^0$	
C	210	1 : 7	ca. $3^1/_4{}^0$	$C = 8—9$ „ „ $D = 6—7$ „ „ $F = 3{,}5$ „ „ $G' = 2$ „ „

Die Länge des Spektrums zwischen C und F in der Bildebene des Austrittsrohres beträgt bei den Modellen A und B 10 mm, bei dem Modell C 13,25 mm.

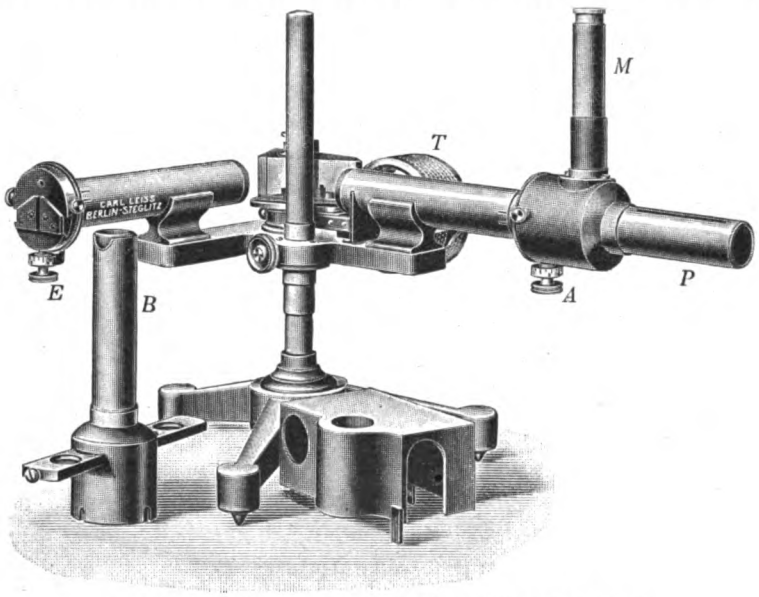


Fig. 3. Monochromator für das sichtbare Gebiet (D. R. G. M.)

Beleuchtung des Eintrittsspaltes bzw. des Kollimators. Zur Beleuchtung des Monochromators eignet sich neben Sonnenlicht am besten eine elektrische Bogenlampe, deren positive Kohle horizontal gelagert ist. Für die Beleuchtung mit künstlichem Licht wird dem Apparat eine achromatische Beleuchtungslinse B beigegeben, die in ein auf den Eintrittsspalt aufsteckbares Rohr gesteckt ist. Die Brennweite und Stellung dieser Beleuchtungslinse ist so gewählt, daß, wenn die Linse ein Bild des Kraters der positiven Kohle auf dem Eintrittsspalt entwirft, das Kollimatorobjektiv vollständig mit Licht erfüllt ist. Der Abstand der Lichtquelle von der Beleuchtungslinse wird bei jedem Apparat besonders vermerkt. — Für die Beleuchtung mit Sonnenlicht kann eine zweite achromatische Linse, die auswechselbar gegen die vorgenannte ist, beigegeben werden. — Von der bisher meist gebräuchlichen Anordnung, die Beleuchtungslinsen getrennt vom Monochromator auf einem

[1]) Die Kenntnis des Öffnungsverhältnisses der Objektive ist wichtig für die Beurteilung der Lichtstärke der einzelnen Modelle.

Stativ zu benutzen, habe ich abgesehen, denn die jetzige Anordnung verbürgt doch eine bessere Zentrierung und Erhaltung der Stellung der Beleuchtungslinsen.

Beleuchtung des Untersuchungsapparates. Auf den Austrittsspalt ist ein Rohr P festklemmbar aufgesteckt, welches eine achromatische Linse enthält, die den Zweck hat, entweder ein paralleles Lichtbündel in den Untersuchungsapparat zu senden, oder ein Bild des Austrittsspaltes an einer bestimmten Stelle, z. B. auf dem Spalt eines Spektrometers zu entwerfen. Die Linse ist in dem Rohr verschiebbar und zwei mit $1:\infty$ und $1:1$ bezeichnete Marken zeigen die für die Linse in Frage kommenden Stellungen an. Die Stellung $1:\infty$ kommt z. B. in Verbindung mit einem Polarisationsapparat zur Messung der Zirkularpolarisation, einem Achsenwinkelapparat oder mit einem Mikroskop zur Anwendung, während die Stellung $1:1$ hauptsächlich in Verbindung mit Spektrometern benutzt wird. In der letztgenannten Stellung $1:1$ stehen also Austrittsspalt und Spektrometerspalt gleichweit und zwar um die doppelte Brennweite von der achromatischen Linse von dieser entfernt.

Gebrauch des Monochromators als Wellenlängenspektralapparat. Hierfür wird dem Monochromator ein sogenanntes Kellnersches Okular mit achromatischer Augenlinse beigegeben. f dieses Okulares 20 mm; es liefert also in Verbindung mit den Objektiven der Modelle A und B eine 8fache, mit dem Objektiv des Modells C eine 10,5fache Vergrößerung. Um das Fadenkreuz dieses Okulares genau mit der Ebene des Austrittsspaltes in Übereinstimmung zu bringen bzw. beim Gebrauch des Okulares eine Neuberichtigung des Monochromators nicht vornehmen zu müssen, kann das Fadenkreuz durch eine kleine Rändchenschraube seitlich berichtigt werden. Die Sehfeldgröße beträgt mit vorgenanntem Okular bei den Modellen A und B ca. 4^0, bei Modell C ca. $2^3/_4{}^0$.

Nachprüfung und Berichtigung des Apparates. Hierfür ist der Austrittsspalt mit einem wegklappbaren Vergleichsprisma versehen und am Austrittsspalt befindet sich ein beim Nichtgebrauch zurückziehbares Einstellmikroskop M. Bei der Nachprüfung oder Berichtigung des Apparates kann man also, ohne daß man eine Umstellung des gesamten Instrumentariums vorzunehmen hat, seitlich eine Vergleichs-Lichtquelle z. B. Na-Licht (589,3 $\mu\mu$) oder H-Licht ($C = 656{,}3\,\mu\mu$, $F = 486{,}1\,\mu\mu$, $G = 434{,}1\,\mu\mu$) benutzen. — Für eine etwaige Neuberichtigung ist die Teiltrommel auf ihrer Achse drehbar eingerichtet. Bei Beginn einer Arbeit überzeugt man sich, ob der Apparat berichtigt ist dadurch, daß man das Licht einer Vergleichslichtquelle mit Hilfe des Vergleichsprismas auf den Austrittsspalt fallen läßt und prüft, ob in der zugehörigen Trommelstellung — also bei Na-Licht 589,3 — genau in der Mitte des Austrittsspaltes bzw. im Kreuzungspunkt des Beobachtungsokulares steht. Ist dies nicht der Fall, so ist nur eine entsprechende Drehung an der Teiltrommel unter Festhalten des Drehknopfes vorzunehmen.

Anwendung von Farbfiltern zur Erzielung einer größeren spektralen Reinheit[1]). Für diesen Zweck kann dem Apparat ein in das Rohr der Beleuchtungslinse einschiebbarer Schlitten beigegeben werden, welcher fünf Öffnungen enthält, von denen vier mit Farbfiltern — Rot, Gelb, Grün und Blau — versehen sind. Die fünfte Öffnung ist frei für die Beleuchtung mit weißem Licht. Die zentrale Stellung der einzelnen Öffnungen wird durch einen federnden Einschnappzahn markiert. — Die vier Filter haben etwa folgende Lichtdurchlässigkeiten:

[1]) Die höchste spektrale Reinheit ist erreichbar durch Anwendung eines zweiten Monochromators.

Farbe	Lichtdurchlässig[1]) für
Rot	680—610
Gelb[2])	680—520
Grün	550—500
Blau	530—430

Modelle *B* und *C*. Die wichtigsten Unterschiede dieser beiden Modelle von Modell *A* sind aus der auf S. 245 gegebenen Zahlentafel ersichtlich. Modell *B* unterscheidet sich von Modell *A* durch seine höhere Lichtstärke. Die Objektive haben bei gleicher Brennweite ein Öffnungsverhältnis von 1:5. Zur vollen Auswertung dieser großen Objektive hat das Prisma entsprechend größere Abmessungen. Die Länge der Eintrittsfläche beträgt 7 cm, gegenüber 4 cm bei Modell *A*. — Modell *C*. Bei einer Brennweite von 210 mm haben die Objektive dieses Modelles ein Öffnungsverhältnis von 1:7, also wie bei Modell *A*. Das Prisma hat aber die gleichen Abmessungen wie bei Modell *B*. Gegenüber dem Modell *A* hat Modell *C* den Vorteil, daß infolge der längeren Objektivbrennweite eine bessere Auflösung oder Definition des Spektrums und gleichzeitig auch eine größere spektrale Reinheit erzielt wird.

II. Apparate für Untersuchungen im Ultraviolett.

C. Neuer U.-V.-Spektralapparat (D.R.G.M.).

In Bd. 32. S. 325. 1912 dieser Zeitschrift habe ich ein „Handspektroskop für Untersuchungen im Ultraviolett" beschrieben, das in der Handhabung außerordentlich bequem, dem aber der Nachteil anhaftet, daß es seines arg zusammengedrängten Spektrums wegen nur für quantitative Arbeiten benutzt werden kann. Wesentlich höheren Anforderungen entspricht dieser neue Apparat, bei welchem die Wellenlängenteilung eine Länge von 50 mm gegen 14 mm bei dem Handspektroskop hat. Die letzten Al-Linien 185,2 und 186 $\mu\mu$ sind noch deutlich sichtbar.

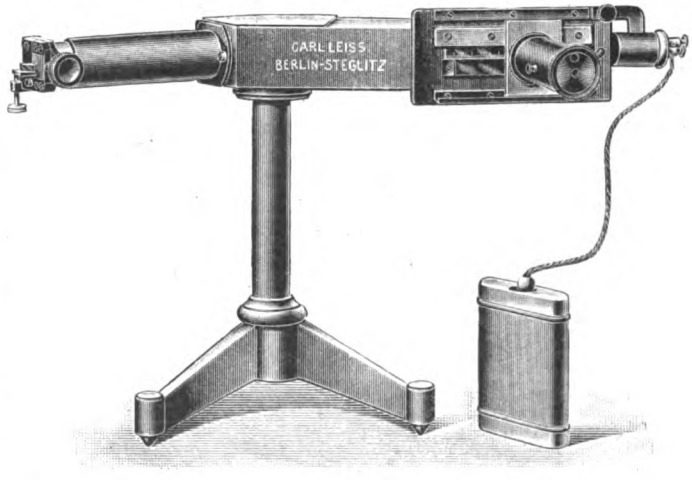


Fig. 4. Spektralapparat für Untersuchungen im Ultraviolett (D.R.G.M).

Als Dispersionssystem dienen zwei Quarzprismen von je 30° in Youngscher Anordnung, wobei die Eintritts- und Austrittsflächen der beiden Prismen konvex gestaltet (D.R.G.M.) sind und so gleich als Objektive für den Kollimator und den Beobachtungsteil dienen. Diese Anordnung hat den großen Vorteil, daß vier reflektierende Flächen gespart werden.

[1]) In Wirklichkeit lassen die Filter nach beiden Richtungen noch mehr Licht durch, dieses ist aber so geschwächt, daß es für die Beleuchtung nicht mehr in Frage kommt.

[2]) In Gelb sind einigermaßen homogene Filter nicht zu haben oder bei größerer Homogenität absorbierten sie zu viel Licht.

Die Beobachtung der schief zur Linsenachse stehenden, mit Wellenlängenteilung versehenen fluoreszierenden Platte geschieht durch ein Okular, welches hinter der Platte parallel der Plattenebene verschoben werden kann. — Zur Beleuchtung der Wellenlängenteilung dient ein kleines elektrisches Lämpchen von 3,5 Volt, welches in geeigneter Fassung am Rahmen für die fluoreszierende Platte befestigt ist. Die Speisung des Lämpchens geschieht durch eine kleine Taschenbatterie.

Über die Art der Einteilung und die Meßgenauigkeit gibt folgende Zahlentafel Aufschluß:

Spektralgebiet in $\mu\mu$	1 Strichteil $= \mu\mu$	Mittlere Größe eines Strichteiles in mm
186—190	—	2,6
200—250	2	0,7
250—300	2	0,35
300—400	5	0,5
400—450	5	0,4

Der Spalt ist symmetrisch und mit Teiltrommel für die Messung der Spaltweite versehen.

D. Monochromator für Untersuchungen im Ultra-Violett (D.R.G.M.).

Einleitung. In seinem äußeren Aufbau zeigt diese neue Ausführungsform merkliche Unterschiede gegenüber dem von mir in der „Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Jahrgang 32. S. 292. 1912“ beschriebenen, den gleichen Zwecken dienenden Apparat. — Als Dispersionssystem kommt wie bei dem vorerwähnten älteren Apparat ebenfalls ein von Straubel vorgeschlagenes Quarzdoppelprisma mit konstanter Ablenkung von 90° zur Anwendung. — Als Einstell- bzw. Meßvorrichtung für das Dispersionssystem dient bei diesem Monochromator die gleiche verbesserte Anordnung, wie bei dem vorbeschriebenen Apparat für Untersuchungen im sichtbaren Gebiet. Die wichtigste Verbesserung bei diesem Apparat bezieht sich indes auf die Einstellung der beiden Objektive. Da die beiden Objektive nicht achromatisierte Linsen aus Quarz sind, müssen sie zur Fokusierung für die verschiedenen Wellenlängen verschiebbar sein. Bei dem von mir früher beschriebenen Apparat mußte jede in eine Röhre gefaßte Linse für sich freihändig verschoben und die Einstellung an einer auf dem Rohr angebrachten Einteilung abgelesen werden. Diese bei jeder Einstellung zweimal zu verrichtende Arbeit war wegen der Feinheit der etwa 25 mm langen Teilung etwas mühselig. Bei dem neuen Apparat ist die Einstellung der Objektive nunmehr in einer wesentlich rationelleren und bequemeren Weise durchgeführt. Beide Objektive werden nicht mehr freihändig und einzeln, sondern durch ein Triebwerk zwangsläufig oder gleichzeitig miteinander verschoben (D.R.G.M.). Die Antriebswelle ist mit einer 5 cm großen Trommel versehen, welche Wellenlängeneinteilung nach Art der Trommel für die Einstellung des Dispersionssystems hat. Die Ablesung und Einstellung bei der neuen Anordnung ist in jeder Hinsicht außerordentlich bequem. Ein Strichteil (Intervall) ist über sechsmal größer wie bei der bisherigen Konstruktion.

Mechanischer Teil. Beide Linsenachsen stehen unter einem Winkel von 90° zueinander. Eintritts- und Austrittsspalt E und A entsprechen denen des vorbeschriebenen Apparates. Auch die Konstruktion der Meßvorrichtung für das Dispersionssystem ist die gleiche. Die Meßtrommel T_1 umfaßt das kurzwellige Gebiet zwi-

schen 500 $\mu\mu$ und 200 $\mu\mu$. — Die Genauigkeit der Einstellung beträgt durchschnittlich 1—2 $\mu\mu$.

Die zwangsläufige bzw. gemeinsame Verschiebung der beiden Objektive L_1 und L_2 geschieht, wie bereits eingangs erwähnt, durch ein Triebwerk derart, daß jedes Objektiv auf einem durch Zahn und Trieb beweglichen Schlitten befestigt ist und die Übertragung von der einen Triebwelle zur andern durch Kegelräder erfolgt.

Will man mit einer bestimmten Lichtart, z. B. mit 240 $\mu\mu$ beleuchten, so ist weiter nichts nötig, als zunächst die größere Wellenlängentrommel für das Dispersionssystem auf 240 $\mu\mu$ einzustellen und sodann an der zweiten etwas kleineren Trommel T_2 für die zwangsläufige bzw. gemeinsame Verschiebung der Objektive die gleiche Einstellung vorzunehmen.

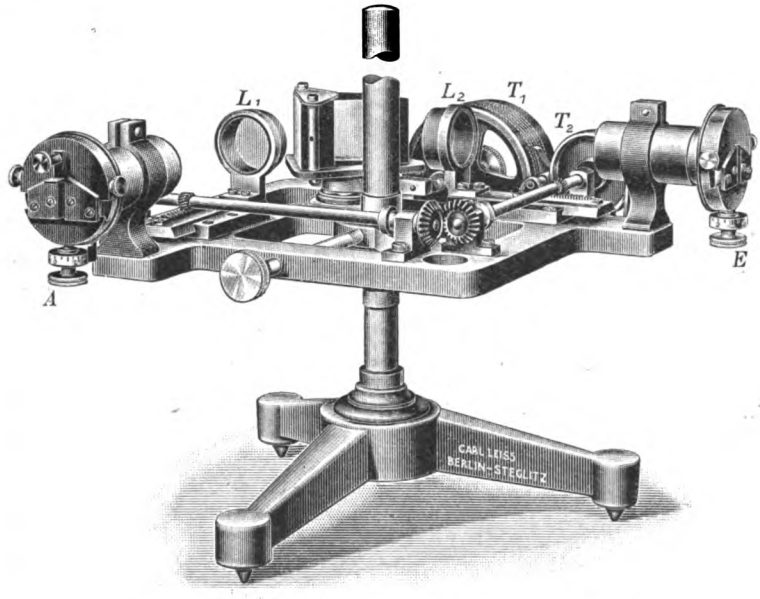


Fig. 5. Monochromator für Untersuchungen im Ultraviolett.

Die bei den bisherigen Ultraviolett-Monochromatoren gebräuchlichen beiden Fernrohrkörper sind bei diesem Apparat zur Vermeidung störender Reflexionen, unter denen die spektrale Reinheit leidet, vermieden. Die Erfahrung hat gelehrt, daß man besonders bei Arbeiten im ultravioletten Strahlengebiet im Aufbau des Instrumentariums alles vermeiden muß, was irgendwie zur Beimischung fremden Lichtes im Austrittsspalt beitragen kann. Hierzu gehören auch die bei so großem Öffnungsverhältnis der Objektive nicht leicht vermeidbaren Reflexionen im Innern der Rohrwandungen sowie an den Prismen- und Linsenflächen. — Die Verschiebung der beiden Objektive erfolgt deshalb nicht mehr wie bisher in Rohren, sondern durch je eine Schlittenbewegung. Jedes der beiden in einen Ring gefaßte Objektiv ist an dem Ende des zugehörigen Schlittens befestigt. Als Lichtschutz und zum Schutz gegen äußere Einflüsse dient eine über den ganzen Apparat gestülpte und durch einige Schräubchen festgehaltene Kappe. — Die Einrichtung des Stativs entspricht auch vollständig derjenigen des vorbeschriebenen Apparates.

Optischer Teil. Die wichtigsten Konstruktionsdaten sind in folgender Zahlenreihe zusammengestellt:

f der Objektive bei 500 $\mu\mu$ in mm	f der Objektive bei 200 $\mu\mu$ in mm	Öffnungsverhältnis bei 500 $\mu\mu$	Öffnungsverhältnis bei 200 $\mu\mu$	Dispersion zwischen 500 $\mu\mu$ und 200 $\mu\mu$
160	135	1 : 5,2	1 : 4,5	9° 45′

Die nutzbare Objektivöffnung beträgt 30 mm, die Länge der brechenden Flächen des Prismas ca. 45 mm. Bei der Einstellung auf die weniger brechbaren Strahlen — bei 500 — stehen die Objektive so nahe wie technisch möglich an den brechenden Flächen des Prismas.

Für die Bewertung der Homogenität in den verschiedenen Spektralbezirken mögen folgende Zahlen dienen:

Spektralbezirk $\mu\mu$	Ausschnitt aus dem Spektrum bei einer Öffnung des Austrittsspaltes von 0,3 mm (in $\mu\mu$)
Hg 404,6	17
Hg 365	9
Hg 312,5	5,5
Hg 253,6	3
Cd 214	1

Bei der Bestimmung der in der zweiten Zahlenreihe angegebenen Werte dienten zur Einstellung die in der ersten Zahlenreihe angegebenen charakteristischen Linien des Hg-Lichtes und des Cd-Funken.

Beleuchtung des Eintrittsspaltes bzw. Kollimators. Für die Beleuchtung des Monochromators kommt eigentlich nur Bogenlicht unter Verwendung von Eisenlichtkohlen und das Licht der Quarzquecksilberlampe in Frage. — Für die intensivere Beleuchtung des Eintrittsspaltes wird dem Apparat eine Quarzbeleuchtungslinse beigegeben, die genau wie beim vorbeschriebenen Apparat in ein auf den Eintrittsspalt aufsteckbares Rohr gesteckt ist. Die Brennweite und Stellung dieser Quarzlinse ist so gewählt, daß, wenn die Linse ein Bild des Kraters der positiven Kohle auf dem Eintrittsspalt entwirft, der Kollimator vollständig mit Licht erfüllt ist.

Beleuchtung des Untersuchungsapparates. Das hinter dem Austrittsspalt angebrachte Rohr trägt im Innern eine verschiebbare Projektionslinse aus Quarz. Das Rohr besitzt außen zwei Strichteilungen, welche für die Wellenlängen 200, 250, 300, 400 und 500 $\mu\mu$ die Stellung der Linse für folgende Fälle angibt:

a) für parallel austretendes Licht;

b) zur Abbildung des Austrittsspaltes in einer Ebene, welche 200 mm vom Austrittsspalt entfernt ist.

Eine auf der vorgenannten Röhre befindliche Hülse dient zum Lichtabschluß zwischen Monochromator und Untersuchungsapparat.

Nachprüfung und Berichtigung des Apparates. Die Nachprüfung und Einstellung der Wellenlängentrommel geschieht am besten unter Verwendung von Funken- oder Röhrenlicht. Besonders geeignet dafür ist die Quarzquecksilberlampe. Es genügt aber auch die Einstellung der Wellenlängentrommel im sichtbaren Gebiet und zwar mit Hilfe der Hg-Linie (436 $\mu\mu$) vorzunehmen. Steht die Trommel nicht richtig ein, so ist dieselbe unter Festhalten des Drehknopfes durch Drehen auf die vorgenannte Zahl 436 einzustellen. Die Projektionslinse in der Röhre hinter dem Austrittsspalt wird bei dieser Art der Einstellung als Lupe benutzt.

Fluoreszierendes Okular für direkte Beobachtungen. Durch Beigabe eines fluoreszierenden Okulares kann der Apparat auch für direkte Beobachtungen

im Ultraviolett bis 200 $\mu\mu$ verwendet werden. In der Ebene der Austrittspupille des Okulares befinden sich zwei Blendenöffnungen, eine zentrale und eine exzentrische. Die erstere dient für Beobachtungen im sichtbaren, die letztere für Beobachtungen im unsichtbaren Gebiet. Das auf die fluoreszierende Uranglasscheibe eingeätzte senkrechte Linienpaar läßt sich mit einer seitlichen Berichtigungsschraube verschieben und dadurch genau in Übereinstimmung mit der Trommel bringen.

Die Herstellung der Apparate erfolgt im eigenen Betrieb.

Bücherbesprechungen.

Rein-Wirtz, Radiotelegraphisches Praktikum. Dritte, umgearbeitete und vermehrte Auflage. 8°. XVIII, 557 S. m. 432 Textabb. u. 7 Tafeln. Berlin, J. Springer, 1921. Geb. 120 M.

Die dritte Auflage des 1910 erschienenen Radiotelegraphischen Praktikums von H. Rein ist von K. Wirtz gegenüber der zweiten Auflage ganz erheblich erweitert, so daß d[illegible] jetzige Umfang mit 557 Seiten mehr als das Doppelte der letzten Auflage beträgt. Die Vergrößerung des Umfanges ist z. T. auf die Berücksichtigung der neueren Entwicklung der Funkentelegraphie zurückzuführen, die eine eingehende Besprechung der Kathodenröhren in ihren verschiedenen Verwendungsarten als Sender, Empfänger und Verstärker und der Verfahren zu ihrer Untersuchung erforderlich machte. Aber auch der schon in der zweiten Auflage behandelte Stoff hat durch Wirtz eine wesentlich allgemeinere und ausführlichere Behandlung erfahren. So sind die mit einfachen mathematischen Mitteln möglichen mathematischen Ableitungen der wichtigeren Gleichungen aufgenommen, wodurch zweifellos dem Wunsche vieler entsprochen ist. Neu hinzugekommen sind ferner Erläuterungen über den Aufbau, Wirkungsweise und Handhabung der wichtigeren Sende- und Empfangsgeräte. Die ebenfalls beträchtlich vermehrten Schaltungsschemata und Abbildungen von Meßinstrumenten bisweilen unter Beifügung von Konstruktionszeichnungen, oft unter Angabe von Zahlenwerten für die einzelnen Bestimmungsstücke machen das Buch insbesondere auch für die Leser dieser Zeitschrift wertvoll. Die Hauptabschnitte des Werkes behandeln der Reihe nach folgendes: Hilfsgeräte, Kapazitäten, Induktivitäten, Kopplungskoeffizienten, Wellenlängen, Dämpfung, Strom-, Spannungs-, Leistungsmessungen, Untersuchung von Schwingungsvorgängen, Prüfung von Isolierstoffen, Eisenuntersuchungen mit Hochfrequenz, Messung des wirksamen Widerstandes von Spulen, Entladestrecken, Luftleiter, allgemeine Gesichtspunkte für den Aufbau der Sende- und Empfangsstelle, Sender, Wellenanzeiger, Empfangseinrichtungen. Zum Schluß wird auch einiges über drahtlose Telephonie und Richtungsbestimmung gesagt. Diese Hauptabschnitte haben mit Rücksicht auf eine gute Übersichtlichkeit eine weitgehende Gliederung in Unterabschnitte erfahren, so daß man sich an der Hand des Inhaltsverzeichnisses leicht zurechtfindet. Man wird kaum vergeblich suchen, wenn man etwas über die Lösung irgendeiner im funkentelegraphischen Betriebe oder Laboratorium auftretenden meßtechnischen Aufgabe wissen will. Das Buch, das auch recht gut ausgestattet ist, wird in der neuen vermehrten Auflage ohne Zweifel eine weite Verbreitung finden.

Die folgenden Bemerkungen können vielleicht für spätere Auflagen vorteilhaft sein. Auf S. 91 wird die einfache Formel (Fläche/$4\pi \times$ Abstand) zur Berechnung der Kapazität eines Plattenkondensators nicht, wie in der 2. Auflage, ausdrücklich als Näherungsformel bezeichnet; sie wird dann S. 115—117 bei der Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten fester Körper ohne Einschränkung angewandt, wobei die zugehörigen Abbildungen 118 u. 119 Plattenkondensatoren in Größenverhältnissen zeigen, für welche die Anwendung der Näherungsformel kaum noch zulässig ist (vgl. E. Grüneisen und E. Giebe, Phys. Zeitschr. **13**, 1097, 1912).

In den Abschnitten über Kapazitäts- und Induktivitätsmessungen dürfte es sich empfehlen, die Maxwellsche Brückenmethode zum Vergleich einer Kapazität mit einer Induktivität aufzunehmen, da diese Methode jetzt sowohl für Messungen allerhöchster Genauigkeit gut durchgebildet, als auch für solche geringerer Genauigkeit in weiten Bereichen der Vergleichsgrößen so bequem anwendbar ist, seitdem Kurbelkondensatoren, nach Art der Kurbelwiderstände, für große und Drehkondensatoren für kleine Kapazitäten im Handel erhältlich sind.

Im Abschnitt: „Eichung von Wellenmessern" heißt es auf S. 181, daß sich „die Eichung am einfachsten gestaltet, wenn ein Normalwellenmesser zur Verfügung steht, der von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt nachgeprüft ist und dessen Angaben alsdann auf 0,1% zuverlässig sind" und ferner auf S. 183, daß sich nach der Lindemannschen Methode der Oberschwingungen „von einer Grundwelle aus die Wellenmesserteilung von der längsten bis herab zu einer Wellenlänge von etwa 50 m mit einer Genauigkeit von 0,1% durcheichen läßt". Diese ohne Einschränkung gemachten Genauigkeitsangaben können doch leicht zu einer Überschätzung der mit technischen Wellenmessern erreichbaren Genauigkeit verleiten; tatsächlich ist diese für die meisten im Handel erhältlichen Wellenmesser aus verschiedenen Gründen viel geringer als 0,1% z. B. wegen der Unvollkommenheit der Ablesevorrichtung (Skalenteilung, Zeiger), wegen des Einflusses der Umgebung auf die Kapazität der in der Regel nicht abgeschützten technischen Drehkondensatoren, und noch aus anderen Gründen. *Giebe.*

Arthur Haas, Einführung in die theoretische Physik mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. Bd. 1 in unveränderter, zweiter Auflage, 384 S.; Bd. 2 in erster und zweiter Auflage, 286 S. Berlin und Leipzig. Vereinigung wissenschaftlicher Verleger Walter de Gruyter & Co., 1921.

Der Titel des Buches scheint einen Widerspruch zu enthalten, da die modernen Probleme der Physik sich von den Anfangsgründen unserer Wissenschaft recht weit entfernt haben. Im wesentlichen ist der erste Band der Einführung gewidmet, während der zweite die modernen Probleme behandelt.

Im ersten Bande, der nach $1^1/_2$ Jahren bereits in zweiter Auflage erschienen ist, finden wir eine Darstelluug der Prinzipien der Mechanik, der Bewegung materieller Punkte, der starren Körper und der Flüssigkeiten; ferner die Theorie des elektrischen Feldes, der Optik und der Elektronen.

Der zweite Band gliedert sich in drei große Abschnitte, nämlich 1. Theorie der Spektren und der Elemente, 2. Statistik nebst Thermodynamik und Strahlung, 3. Relativitätstheorie und Gravitationstheorie.

Es sind nicht alle Kapitel der theoretischen Physik gleichmäßig zu ihrem Recht gekommen (z. B. nicht die Akustik), auch unter den modernen Problemen ist nur eine Auswahl getroffen. Aber was der Autor zur Darstellung bringt, ist so vorzüglich im logischen Aufbau und in der Art der Beweisführung, daß das Werk unbedenklich als eins der besten seiner Art bezeichnet werden muß. Überall, auch bei den ständig steigenden Schwierigkeiten im zweiten Bande, erkennt man die Gründlichkeit, mit der der Verfasser an einer klaren Darstellung gearbeitet hat.

Der zur Verfügung stehende Raum ermöglichte nicht, alle Beweise in voller Strenge durchzuführen. Einige Formeln mußten, um nicht gar zu sehr ins Breite zu gehen, ohne Beweis gebracht werden. Dieses Verfahren wird zweifellos von der größten Zahl der Leser gebilligt werden, denn es trägt wesentlich dazu bei, die großen Linien und allgemeinen Gesichtspunkte der Forschung deutlich hervortretenzulassen.

Der Vorzüglichkeit des Werkes kann der Umstand keinen Abbruch tun, daß in der „Chronologischen Übersicht" des Anhanges wichtige Etappen der Forschung, die zweifellos mit modernen Problemen in nahem Zusammenhang stehen, unerwähnt geblieben sind, so z. B. die Verflüssigung des Heliums durch Kamerlingh Onnes, von der allerdings auch im Text nicht die Rede ist. *Hng.*

Albert Einstein, Äther und Relativitätstheorie, Rede gehalten am 5. Mai 1920 an der Reichsuniversität zu Leiden. Berlin, J. Springer, 1920. 2,80 M.

Es wird dargetan, daß die von Einstein ursprüglich ausgesprochene Leugnung des Äthers nicht notwendig von der speziellen Relativitätstheorie gefordert wird und daß gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie ein Raum ohne Äther (auf den allerdings die ihm bisher zugeschriebenen Eigenschaften nicht passen) undenkbar ist, da es in einem solchen keine Lichtfortpflanzung gäbe. *Hng.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

NOV

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
R. Straubel in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

9. Heft: September.

Inhalt:

L. Schupmann †, Mechanische Einrichtung und Gebrauch der Medialfernrohre mit einfachem Spiegel S. 253. — A. Sonnefeld, Zwölf oder neun Fehler fünfter Ordnung bei Linsenfolgen mit Rotationsflächen, die zu einer Achse symmetrisch liegen? S. 259. — H. Lüscher, Ermittelung der Punktlage bei stereophotogrammetrischen Aufnahmen mit horizontalen Kamera-Achsen S. 262.

Referate: Coradis Polarkoordinatograph S. 273. — Die Zerstreuung des Lichtes in dem brechenden Medium des Auges S. 274. — Auszug-Berichte des Nela Research Laboratory S. 274. — Konstante hochohmige Meß- und Belastungswiderstände S. 276 — Die Ursache der Unbeständigkeit der Nickelstähle S. 277.

Bücherbesprechungen: G. Berndt, Physikalisches Wörterbuch S. 278. — G. v. Hanffstengel, Technisches Denken und Schaffen S. 278. — M. Zeller, Ein neuer Distanzmesser für topographische Aufnahmen S. 278. — M. v. Rohr, *Geometrical Investigation of the Formation of Images in Optical Instruments* S. 279. — R. Krause, Messungen an elektrischen Maschinen S. 280. — W. Skirl, Meßgeräte und Schaltungen für Wechselstrom-Leistungsmessungen S. 280.

Bekanntmachung S. 280.

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch. Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für alle übrigen Zahlungen Berlin Nr. 11100 Julius Springer

Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener [6147]
Präzisionsmechanischen Werkstätten

G. KESEL
G. m. b. H.
in Kempten i. Allg.

Gravier-Apparat
zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

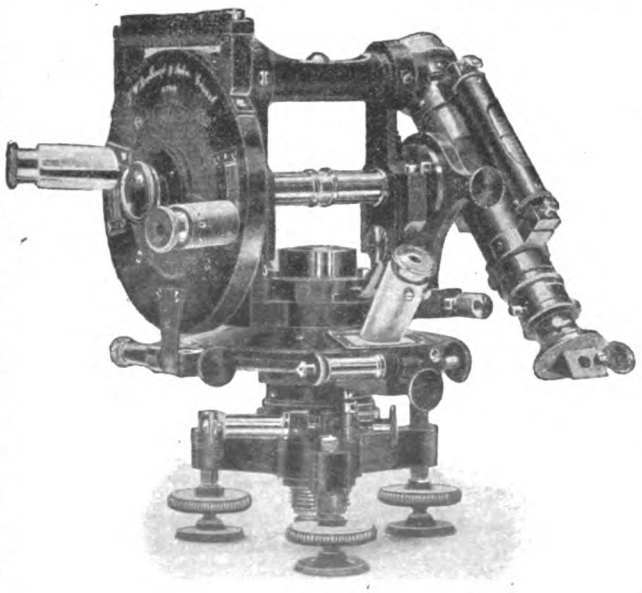
Linsen und Objektive

für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,
RATHENOW a. H.

F. W. Breithaupt & Sohn

Gegründet 1762 **CASSEL**



Reise-Theodolit

Geodätische
und
astronomische Instrumente

—

Mikroskop-Theodolite

—

Tachymeter

—

Nonien-Theodolite

—

Fein-Nivellierinstrumente

—

Bussolen

[6110]

Kataloge kostenlos

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **September 1921.** Neuntes Heft.

Mechanische Einrichtung und Gebrauch der Medial-Fernrohre mit einfachem Spiegel.

Von

Prof. **L. Schupmann** †.

Im Anschlusse an die in dieser Zeitschrift mitgeteilte Berechnung möchte ich einige ergänzende Bemerkungen zufügen, die das Verständnis der Medialsysteme erleichtern sollen und teilweise auf den bisherigen von mir gemachten Erfahrungen beruhen.

Fig. 1 zeigt in den Hauptlinien das Rohr, Fig. 2 die Aufsicht auf das Objektiv, Fig. 3 die Ansicht der Grundplatte des Instrumentes, alle drei Figuren in demselben Maßstabe. In größerem Maßstabe sind beigefügt die Figuren 4 bis 7, welche Einzelheiten des Hohlkörpers darstellen, in dem das Prisma untergebracht ist. Da dieser Körper bei optischen Instrumenten gewöhnlich der Kubus genannt wird, so soll dieser Name beibehalten werden, obwohl im vorliegenden Falle nur eine entfernte Ähnlichkeit mit einem halbierten Kubus zurückgeblieben ist.

Soll die berechnete Objektivneigung mit der erforderlichen Genauigkeit bewerkstelligt werden können, so ist dafür zu sorgen, daß der gedrehte Abschlußring, der auf dem Rohrende aufruht und die Objektivfassung aufnimmt, auf der Verbindungslinie Objektivmitte — Prismamitte senkrecht steht. Am besten wird diese Stellung mit Hilfe eines kleinen Fernrohres herbeigeführt, das an drei Punkten auf diesem Ringe aufruht. Das Verfahren ist bekannt, da die Refraktorobjektive auf ähnliche Weise eingestellt werden. Ein anderes Vorgehen bewerkstelligt die Neigung des Objektivs vom Okulare aus, wie sie Herr Fauth am Landstuhler Mediale durchgeführt hat. Sie hat den Vorteil, daß die Senkrechtstellung des Abschlußringes umgangen wird und daß astigmatische Fehler in den Flächen des Systems unschädlich gemacht werden. Die Einzelheiten der drei Stellschrauben sind in diesem Falle etwas anders als in Fig. 1 dargestellt. In allen Fällen müssen jedoch die drei Schrauben auf dem Umfang so verteilt sein, wie sie Fig. 2 zeigt, nämlich so, daß die Verbindungslinie zweier dieser Schrauben mit dem Querrohr, das den Spiegel enthält, parallel verläuft. Bei der Einstellung des Objektivs vom Okulare aus wird so lange an einer dieser beiden Schrauben verstellt, bis die Ellipsen, die bei innerer und äußerer Okularstellung als Bild eines Sternes erscheinen, mit ihren Achsen zum Objektiv zielen, beziehungsweise auf der Verbindungslinie Okular — Objektiv senkrecht stehen; die dritte Schraube, die in Fig. 2 sich nach unten befindet, wird dann so gestellt, daß die Ellipsen in der Mitte des Gesichtsfeldes in Kreise übergehen.

Für Haupttubus und Querrohr sind Stahlblechrohre aus einem Stücke gefertigt anzuraten. Das Querrohr kann vermittelst der beiden mit Gewinden, Mutter und

Gegenmutter versehenen Rohrstücke (Fig. 1) dem Objektive etwas genähert bzw. etwas von ihm entfernt werden. Die scheibenförmige Mutter (Fig. 1 und 3), die zentrisch auf der Grundplatte des Instrumentes aufliegt, ist mit sechs Durchbohrungen versehen; zwei davon nehmen die gerändelten Befestigungsschrauben auf, welche diese Mutter mit dem Tubus verbinden. Es ist anzuraten, zwei Sucher anzubringen; ihre Träger sind in der Nähe der Punkte *S* (Fig. 3) angebracht.

Von den in größerem Maßstabe dargestellten Figuren zeigt Fig. 4 einen Durchschnitt des Kubus, Fig. 5 einen Durchschnitt durch das Querrohr nahe am Kubus, von dem ein Teil der Innenansicht der Deckplatte zu sehen ist, Fig. 6 zeigt die Innenansicht der Deckplatte in wahrer Gestalt und Fig. 7 die Ansicht des Kubus vom Okular aus gesehen. Die Deckplatte des Kubus, an welcher sich der Auszug befindet, ist vermittelst vier gerändelter Schrauben leicht abnehmbar (Fig. 4 und 7). Der Auszug und sein Führungsrohr sind teilweise halb ausgeschnitten, damit die Okularachse möglichst nahe der Prismaachse angeordnet werden kann (Fig. 4 und 5). Weiter ist an der Kubusdeckplatte befestigt ein hufeisenförmiger möglichst leichter und starrer Körper *K* (Fig. 6), der das Prisma trägt und der durch die beiden Schrauben *V* (Fig. 7) so gestellt wird, daß der von der Mitte des Objektivs ausgehende Strahl die Mitte des Spiegels trifft, was sich im Bilde durch Verschwinden der prismatischen Färbung bemerkbar macht. Durch eine Feder zwischen seinen Schenkeln (Fig. 6) wird dieser Körper gegen die Schrauben *V* gedrückt. Die Schraube, welche ihn mit der Kubusdeckplatte verbindet, ist möglichst

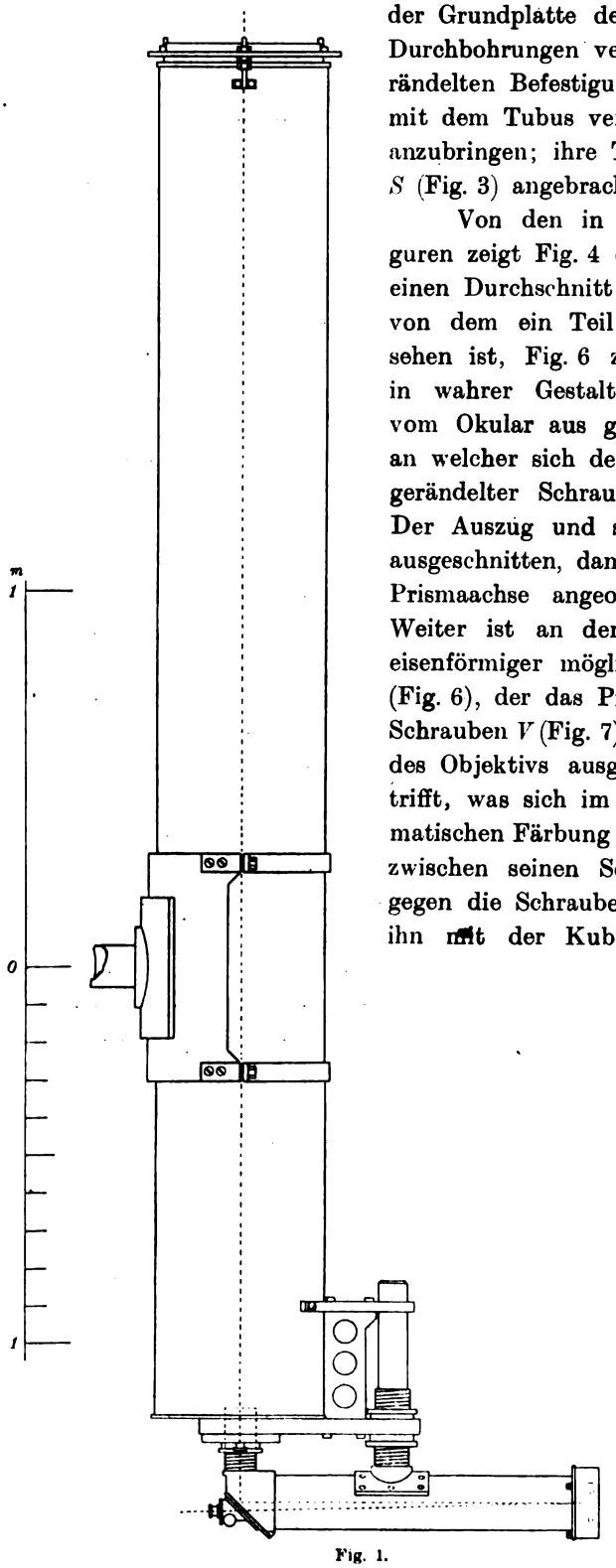


Fig. 1.

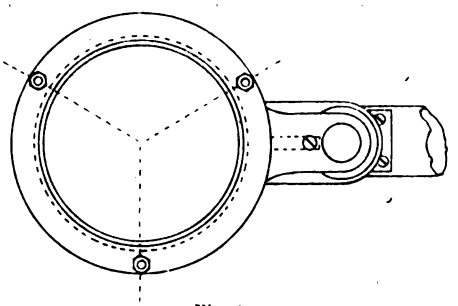


Fig. 2.

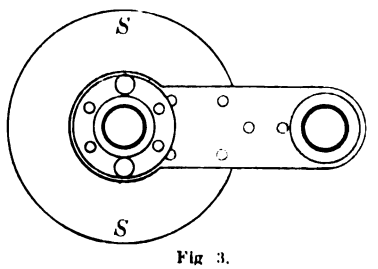


Fig. 3.

nahe der Prismamitte angeordnet (Fig. 4), damit das Prisma seinen Ort möglichst wenig ändert. Sollen die Schrauben *V* ohne Zahnradübersetzung bewegt werden, so müssen sie sehr geringe Ganghöhe haben (ca. $^1/_3$ mm). Wenn auch die Zahnradübersetzung Vorteile hat, so vermeidet man doch gern derartige Uhrmacherarbeit. Die beiden Schrauben *V* dienen auch dazu, bei tiefem Stande der Gestirne das atmosphärische Spektrum zu beseitigen, außerdem wird eine dieser Schrauben verstellt, wenn man das Spektrum eines Sternes beobachten will. Damit die Spektrallinien möglichst deutlich erscheinen, ist eine spaltförmige Blende von ca. $^1/_2$ Objektivdurchmesser Spaltbreite, in passender Richtung vor dem Objektive aufgestellt, sehr vorteilhaft, besonders bei langen Serien von Spektralbeobachtungen.

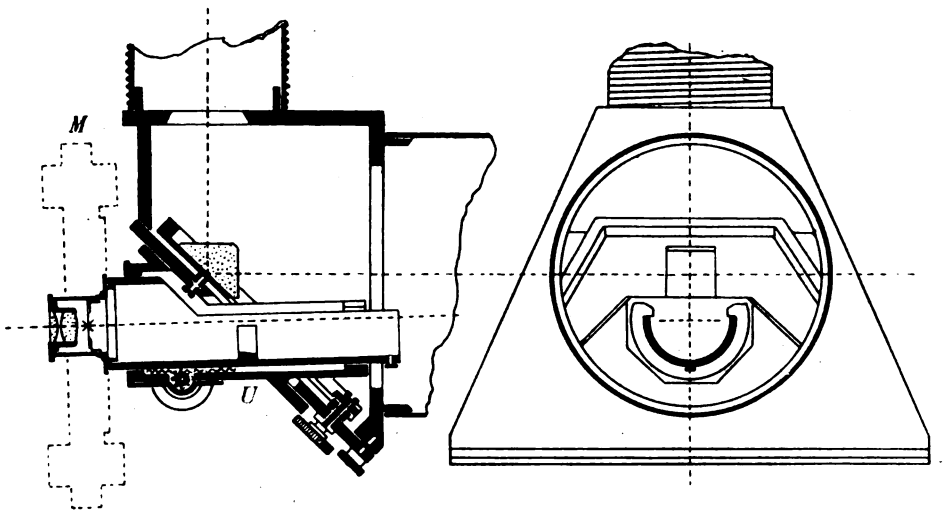


Fig. 4.

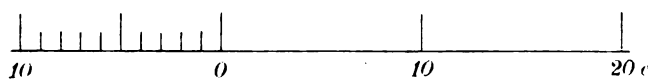


Fig. 5.

Wie aus der mitgeteilten Berechnung ersichtlich, ist die konvexe Fläche des Prismas (Fig. 4) dem Objektive zugekehrt. Zunächst wird ein von Ebenen begrenztes Prisma angefertigt; die schwach gewölbte Konvexfläche wird dann so angeschliffen, daß der polierte Rest der ursprünglichen ebenen Fläche verschwindet, und zwar genau in der Mitte der quadratischen Fläche. Für das Objektiv hat sich das alte Münchener Verfahren des Polierens auf Harz am besten bewährt. Besondere Sorgfalt erfordert die mathematisch genaue Herstellung der Spiegelfläche. Gegen Verbiegung des Spiegels schützt am sichersten die Auflagerung auf drei Bänkchen in Verbindung mit der bei den Spiegelteleskopen häufig angewandten dreistrahligen Feder.

Die genaue Einstellung des Spiegels, der durch drei Zug- und drei Druckschrauben beweglich ist, geschieht am besten durch zwei Personen. Nachdem man das Objektiv bei Tage auf den Himmel gerichtet hat, blickt man ohne Okular in den Spiegel. Der Spiegel wird so verstellt, daß sich die zwei Spiegelbildchen des Prismas der Mitte des Spiegels nähern. Es erscheint dann der helle Schein des Spiegels. Nachdem ein schwach vergrößerndes Okular aufgeschraubt ist, wird der Spiegel so gestellt, daß die ein Quadrat bildenden Abschlußlinien des Prismas von der Feldblende symmetrisch umschlossen werden.

Die Genauigkeit der Messungen wird bei den Medialfernrohren durch ihre kurze Brennweite nicht gerade günstig beeinflußt; demgegenüber ist jedoch hervorzuheben, daß die korrekte schwingungsfreie Führung der kurzen Mediale durch das Uhrwerk geringere Schwierigkeiten verursacht wie bei den langen Refraktoren. Vorteile und Nachteile werden sich hier annähernd ausgleichen. In der Fig. 4 ist der für das Mikrometer nötige Raum durch die punktierte Linie *M* angedeutet. Die Ebene der Mikrometerfäden steht senkrecht auf der Verbindungslinie Okularachse — Spiegelmitte, was durch passende Abschlichtung der rechteckigen Platte (Fig. 7) erreicht werden kann, die auf der Kubusdeckplatte befestigt ist.

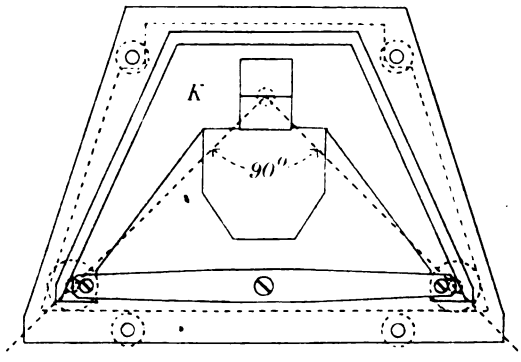


Fig. 6.

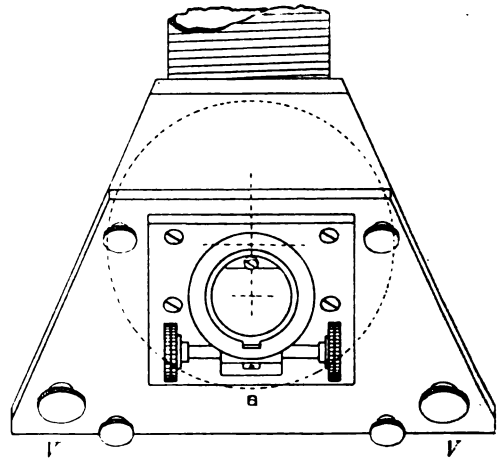


Fig. 7.

Bei dem berechneten Mediale ist die Neigung des Bildes im korrigierten Brennpunkte gegen die Ebene der Mikrometerfäden 1:17,1, wenn für die Entfernung Prismaachse — Okularachse der angenommene Wert von 2,5 cm beibehalten wird. Allerdings macht die Akkomodation des Auges bei den gangbaren Vergrößerungen diese Bildneigung leicht unschädlich, so daß das Bild überall deutlich erscheint, es wird aber Parallaxe zwischen Bild und Fäden entstehen. Der Maximalfehler, der beim Messen im ungünstigsten Falle dadurch entstehen kann, daß durch Haltung des Auges bei beiden Ablesungen das Gesamtstrahlenbündel mit Ausnahme der äußersten Randpartie durch die Augenpupille nach der möglichst fehlervergrößernden Seite abgeschnitten wird, beträgt bei 1:10 Öffnungsverhältnis des Fernrohres $\frac{1}{17{,}1} \cdot \frac{1}{2 \cdot 10} = \frac{1}{342}$ der gemessenen Länge. Würde die Objektivöffnung auf $^2/_3$ ihres Durchmessers abgeblendet, so würde der Fehler $\frac{1}{342} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{513}$ betragen können. Je nach der Haltung des Auges kann um diese Beträge zu groß oder zu klein gemessen werden. Der Fehler wird im allgemeinen sehr klein sein, überschreitet aber im ungünstigsten Falle am Rande weitgeöffneter Okulare doch etwas die Sichtbarkeitsgrenze (ca. 3 Minuten okularseitig), es ist deshalb seine Beseitigung notwendig und auch leicht möglich. Sorgt man nämlich dafür, daß das Auge aus dem Strahlenbündel einen symmetrisch zum Mittelstrahl gelegenen Teil ausschneidet, oder daß das Strahlenbündel vollständig ins Auge gelangt, so wird der Fehler verschwinden. Das geschieht, wenn man das Auge etwas vom Okulare entfernt und jede Koinzidenz in der Mitte des so verbleibenden verkleinerten Gesichtsfeldes beobachtet, wie das Fig. 8 zeigt, wo der große Kreis die

Feldblende bedeutet und die punktierten Kreise die verkleinerten Gesichtsfelder einschließen. Bei sehr dunklem Himmelsgrunde wird eine kleine farbige Glühlampe, vor der Objektivmitte angebracht, gute Dienste tun. Bei sehr großen Instrumenten fällt der Fehler fort, da infolge des sekundären Spektrums sich für die Fäden ein gegenügend lichtstarkes verschiedenfarbiges Bild formiert. Dasselbe wird bei dem durchgerechneten Mediale von 3,85 m Brennweite eintreten, wenn die gemessene Länge 3,5 mm nicht übersteigt.

Ein anderer Fehler, der das Resultat immer in derselben Richtung verfälscht (die Länge wird stets zu klein gemessen), ist die Distorsion des Bildes, die das Prisma verursacht. Der Fehler ist so klein, daß er weit unter der Sichtbarkeitsgrenze liegt. Bei dem berechneten Mediale wird er bei 2 cm gemessener Länge $\frac{1}{7850}$ dieser Länge betragen. Da der zu klein gemessene Bruchteil der Länge mit dem Quadrate dieser Länge steigt bzw. abnimmt, so ist er für kleine Entfernungen der Fäden bedeutungslos. Der Fehler ist der Rechnung leicht zugänglich, und so kann man ihn immerhin berücksichtigen.

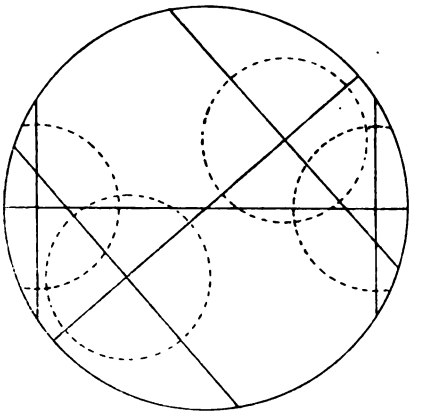


Fig. 8.

Im korrigierten Brennpunkte ist der Strahlengang nicht telezentrisch, und zwar konvergieren die Mittelstrahlen der verschiedenen Büschel zu einem Punkte, der auf der Mitte der Spiegelfläche gelegen ist. Bei jeder Messung ist daher an der Skala des Auszuges die Entfernung der Fädenebene von der Spiegelfläche abzulesen und beim Resultate zu berücksichtigen. Bei dem durchgerechneten Beispiel ist für diese Entfernung $L + \frac{2k}{n_{III}}$ anzusetzen, wenn L den Abstand der Fädenebene vom Scheitel der Vorderfläche der Spiegellinse bezeichnet, k die Scheiteldicke der Spiegellinse und n_{III} ihr Brechungskoeffizient. Skala und Index sind zweckmäßig in der Nähe des Punktes U (Fig. 4) anzuordnen.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß bei den Medialen mit einfacher Spiegellinse und bei Anbringung des Mikrometers im korrigierten Brennpunkte sich Messungsfehler, welche die Konstruktionsart des Medials verursacht, leicht vermeiden lassen. Instrumentaustrittspupillen, die zwei Millimeter Durchmesser überschreiten, sind bei diesen Messungen möglichst auszuschließen.

Übrigens werden infolge der geringen Bildneigung die Verhältnisse im Gesichtsfelde durch die Bildkrümmung der Okulare stark beeinflußt; die oben über die Messungen gemachten Angaben bleiben aber in vollem Umfange bestehen. Hier seien zur Orientierung einige Resultate mitgeteilt. In Fig. 9 bezeichnet P das Prisma und der daranstoßende große ausgezogene Kreis die Feldblende eines beliebig vergrößernden Okulars, für die ein Halbmesser von ein Drittel der Okularbrennweite angenommen wurde. Der ausgezogene schräge Durchmesser gibt die Richtung der größten Bildneigung von 1 : 17,1 an, die als Resultante der Einflüsse von Objektiv- und Spiegelneigung sich ergibt. Wird statt des positiven der negative Wert der Objektivneigung gewählt, so bildet die größte Bildneigung mit der Verbindungslinie Prismaachse — Okularachse den Winkel von 24^0 nach der entgegengesetzten Seite. Zunächst haben

gleichen Fokalabstand, werden also gleich deutlich erscheinen diejenigen Teile der Fäden, die vom Rande des Gesichtsfeldes gleichweit entfernt sind, also auf einem beliebigen Kreise liegen, der mit dem Umfange der Feldblende *I* konzentrisch verläuft. Die Stellen des Bildes aber, die gleiche Deutlichkeit zeigen, liegen auf einem beliebigen Kreise, der mit dem Kreise III konzentrisch ist. Für den innerhalb des Kreises III gelegenen Teil des Gesichtsfeldes verschwindet also die Bildneigung vollständig. Stellt man die beiden Mikrometerfäden so, daß sie den Kreis II in gegenüberliegenden Punkten berühren, beziehungsweise einen damit konzentrischen Kreis, so werden, keine Akkomodation vorausgesetzt, der Faden und der jenseits des Kreismittelpunktes gelegene Bildteil nach passender Einstellung deutlich sein. Um beide Fäden und beide entsprechenden Bildteile deutlich zusehen, wird aber nur die Hälfte der Akkomodationsfähigkeit nötig, wie bei den Ablesungen auf der Schar der Kreise I und III. Die praktische Verwendbarkeit dieser Eigenschaft ist jedoch gering und würde sich nur auf stärkere Vergrößerungen beschränken. In der Zeichnung wurde der Radius der Okularbildsphäre zu 1,5 der Okularbrennweite angenommen; nimmt man statt 1,5 den Radius zu 1,1 an, so werden die drei betreffenden Kreise die Linie der größten Bildneigung an den durch vier kleine Kreise bezeichneten Punkten schneiden.

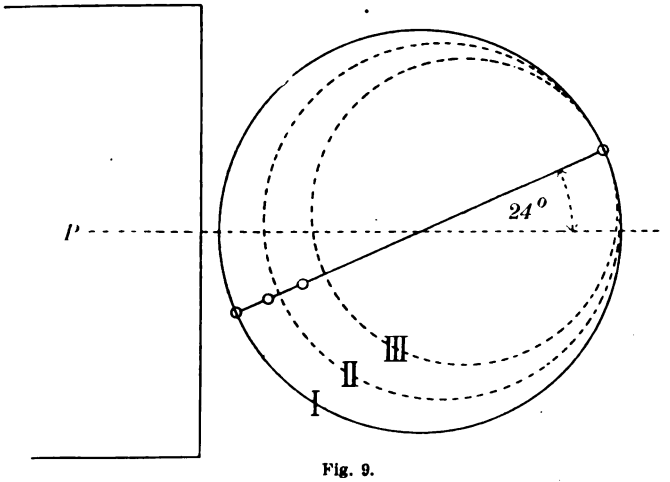


Fig. 9.

Messungen von hocher Genauigkeit können weiter mit den Medialfernrohren ausgeführt werden, wenn das Mikrometer im unkorrigierten Brennpunkte angebracht wird, wie ich in den astronomischen Nachrichten Nr. 4686 (Bd. 196, Okt. 1913) näher auseinandergesetzt habe. Eine solche Anordnung war in einem halbfertig gewordenen Instrumente von ca. 30 cm Objektivöffnung beabsichtigt; leider wurde die Firma G. u. S. Merz in Pasing-München durch den Krieg und die jetzige Teuerung verhindert, das Instrument zu vollenden. Bei dieser Stellung des Mikrometers wird die mechanische Einrichtung aber etwas komplizierter.

Zum Schlusse seien noch einige Vorteile der Mediale für den Beobachter angeführt. Der Blick in das Okular ist niemals steiler als die Polhöhe nach oben gerichtet und bei Kulmination der Objekte, da wo die besten Beobachtungen zu erwarten sind, sieht man in bequemster Augenhaltung horizontal in das Rohr. Wegen der geringen Lagenänderung des Okularendes werden die nötigen Gerüste sehr leicht gegenüber den Refraktoren und die vergleichsweise kleine Kuppel ist leicht zu bedienen.

Zwölf oder neun Fehler fünfter Ordnung bei Linsenfolgen mit Rotationsflächen, die zu einer Achse symmetrisch liegen?

Von
Dr. **A. Sonnefeld** bei der Firma Carl Zeiss in Jena.

Joseph Petzval hat in seinem „Bericht über die Ergebnisse einiger dioptrischer Untersuchungen", Pesth 1843, Angaben über die Zahl der unabhängigen Koeffizienten der Glieder höherer Ordnung gemacht, deren Richtigkeit K. Schwarzschild später bezweifelt hat, wenigstens soweit sich jene Angaben auf Kugelflächen beziehen. In seinen: „Untersuchungen zur geometrischen Optik I, Einleitung in die Fehlertheorie optischer Instrumente auf Grund des Eikonalbegriffs", Göttingen 1905, schreibt Schwarzschild einleitend hierüber: „Die Anzahl der unabhängigen Bildfehler fünfter Ordnung ergibt sich ohne weiteres zu neun. Petzval, der Errechner des ersten Porträtobjektivs, hat für diese Zahl zwölf angegeben, woraus hervorzugehen scheint, daß er trotz der Ausdehnung seiner Rechnungen auf Glieder neunter Ordnung den Zusammenhang der Koeffizienten nicht allzu tief durchschaut hat." Kohlschütter kommt in seiner Dissertation: „Die Bildfehler fünfter Ordnung optischer Systeme abgeleitet auf Grund des Eikonalbegriffs nebst Anwendung auf ein astrophotographisches Objektiv," Göttingen 1908, zu dem gleichen Ergebnis wie Schwarzschild. A. Kerber hat Petzval in Schutz genommen in der Schlußbemerkung zu seiner Abhandlung: „Die Differenzausdrücke für die Bildfehler fünfter Ordnung", die am 20. März 1910 in der Zeitschrift „Der Mechaniker", Jahrgang XVIII, Nr. 6 erschien. Die Verteidigung klingt etwas sonderbar und sein Einwand gegen die Schwarzschildsche Abhandlung ist nicht recht verständlich. Im Juni 1914 erschien eine neue Arbeit von A. Kerber in dieser Zeitschrift, XXXIV. Jahrgang, 6. und 7. Heft, betitelt: „Beiträge zur allgemeinen Fehlertheorie." Hierin betont Kerber nochmals ganz besonders die Richtigkeit der Petzvalschen Angaben und seine Übereinstimmung mit ihm in bezug auf die Zahl der unabhängigen Koeffizienten der Glieder fünfter Ordnung. Im Gegensatz zu Schwarzschild, der nur neun unabhängige Koeffizienten der Glieder fünfter Ordnung nachweist, glaubt Kerber zwölf unabhängige Koeffizienten gefunden zu haben, unabhängig im Sinne Petzvals, diese Einschränkung fügt er hinzu. Aus dem Schlußsatz des Abschnitts V der Kerberschen Arbeit geht klipp und klar hervor, welche Koeffizienten im Sinne Petzvals unabhängig genannt werden. Darnach sind Koeffizienten nur unabhängig voneinander, wenn sie sich durch Faktoren unterscheiden, die reine Zahlen sind. Ob Petzval diese recht eigentümliche Auffassung tatsächlich gehabt hat, läßt sich allerdings aus seinem oben erwähnten Bericht mit Sicherheit nicht schließen. Stellt man die Aufgabe ganz allgemein, d. h. ohne über die Art der brechenden oder reflektierenden Flächen etwas auszusagen, dann erhält man in Übereinstimmung mit Petzval die Zahl der ursprünglich vorhandenen Glieder aus der folgenden Formel in der für n die Ordnungszahl einzusetzen ist.

$$Z_n = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{12}. \qquad 1)$$

Man erhält hieraus:

$$Z_1 = 2 \qquad Z_7 = 60$$
$$Z_3 = 10 \qquad Z_9 = 110$$
$$Z_5 = 28$$

Die Formel ist von Petzval nicht aufgeführt, aber es ist anzunehmen, daß sie ihm und seinen tüchtigen Bombardieren bekannt war.

Unter der Voraussetzung achsensymmetricher, sphärischer Linsenfolgen leitet A. Kerber eine Formel für die Zahl der unabhängigen Koeffizienten der Glieder höherer Ordnung ab, sie steht im Abschnitt VIII seiner „Beiträge zur allgemeinen Fehlertheorie" und heißt:

$$Z_n' = \frac{(n+1)(n+3)}{4}. \qquad 2)$$

Für die Glieder ungerader Ordnung ergibt sich hieraus:

$$Z_1' = 2 \qquad Z_7' = 20$$
$$Z_3' = 6 \qquad Z_9' = 30.$$
$$Z_5' = 12$$

Petzval gibt für die Glieder bis zur fünften Ordnung je drei Zahlen an und zwar die Zahlen, wie sie sich aus Formel 1) ergeben; dann für den Fall, daß die Flächen Rotationsflächen mit gemeinsamer Achse sind, die Zahlen 6 für $n = 3$, vermutlich 15 für $n = 5$ (diese Zahl ist vom Setzer vergessen worden), zuletzt bei Kugelflächen die Zahlen 5 für $n = 3$, 12 für $n = 5$, 20 für $n = 7$. Diese letzte Zahl ist von Petzval nicht als sicher angegeben. Kerber vergleicht mit den letzten Zahlen seine aus der Formel 2 errechneten Zahlen und findet die Übereinstimmung mit Petzval im Falle $n = 5$. Das ist eine bedenkliche Gewähr für die Richtigkeit der Anzahlen aus der Formel 2. Im übrigen ist die Ableitung der Formel nicht recht verständlich und geht von einer Entwicklung aus, die zu wenig Übersicht bietet. In der oben erwähnten Schlußbemerkung gibt das Kerber offenbar auch zu, wenn er schreibt: „Wenn es auch von Interesse sein mag, den Zusammenhang der Koeffizienten in den Fehlerausdrücken fünfter Ordnung zu ermitteln, so läßt sich das bequemer auch ohne vollständige Entwicklung jener Formeln leisten, z. B. auf Grund des Eikonalbegriffes, wie es Schwarzschild in seiner Untersuchung zur geometrischen Optik I (Berlin, 1905) getan hat."

Für Kugelflächen erhält man aus der Eikonalbetrachtung folgende Formel für die Anzahl der unabhängigen Koeffizienten der Glieder ungerader Ordnung.

$$\mathfrak{Z}_n = \frac{(n+3)(n+5)}{8} - 1. \qquad 3)$$

In Übereinstimmung mit Schwarzschild erhält man:

$$\mathfrak{Z}_1 = 2 \qquad \mathfrak{Z}_7 = 14$$
$$\mathfrak{Z}_3 = 5 \qquad \mathfrak{Z}_9 = 20.$$
$$\mathfrak{Z}_5 = 9$$

Diese Formel gilt nicht nur für Kugelflächen, sondern für alle zu einer Achse rotationssymmetrischen Linsenfolgen. Der Umstand, daß Petzval hierfür zwei verschiedene Zahlen angibt, hat wohl Kerber den Anlaß gegeben zu der eigentümlichen, engen Auffassung des Begriffes Unabhängigkeit.

Die Formel 3) folgt aus § 4 und § 6 der „Untersuchungen zur geometrischen Optik I" von Schwarzschild, ist allerdings von ihm nicht aufgeführt. Die Richtigkeit der Formel ist bewiesen, wenn man sicher erkannt hat, daß in der Entwicklung des Winkeleikonals nach Potenzen der Richtungskosinus p_0, q_0 und p_1, q_1 des einfallenden bzw. gebrochenen Strahles nur die ganzen Potenzen der drei Größen

$$\sigma_0 = p_0^2 + q_0^2; \quad \sigma_1 = p_1^2 + q_1^2; \quad \sigma_{01} = p_0 p_1 + q_0 q_1$$

vorkommen.

Um dies nachzuweisen, geht man am einfachsten von einer Entwicklung des Winkeleikonals aus, wie sie Schwarzschild in § 6 gibt, und zeigt zunächst, daß die Ausdrücke

$$Y(n_0 p_0 - n_1 p_1) + Z(n_0 q_0 - n_1 q_1)$$

und

$$T = Y^2 + Z^2$$

durch ganze Potenzen der obigen drei Größen dargestellt werden können; denn bis zu welcher Ordnung man auch die Entwicklung treiben mag, es treten immer nur Potenzen der Größen σ_0, σ_1 und T zum Winkeleikonal hinzu.

Aus dem Brechungsgesetz folgt:

$$Y = \lambda(n_0 p_0 - n_1 p_1);$$
$$Z = \lambda(n_0 q_0 - n_1 q_1);$$

$$\lambda = \frac{r\left[1 - \frac{1}{2}\cdot\frac{T}{r^2} - \frac{1}{2\cdot 4}\left(\frac{T}{r^2}\right)^2 - \dots\right]}{n_0 - n_1 + n_1(p_1^2 + q_1^2) - n_0(p_0^2 + q_0^2) + n_1(p_1^2 + q_1^2)^2 - n_0(p_0^2 + q_0^2)^2 + \dots}.$$

Der Form nach ergibt sich hieraus:

$$\lambda^2 = \frac{a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + \dots}{b_0 + b_{10}\sigma_0 + b_{11}\sigma_1 + b_{200}\sigma_0^2 + b_{211}\sigma_1^2 + b_{201}\sigma_0\sigma_1 + \dots}.$$

Da

$$T = Y^2 + Z^2,$$

so folgt:

$$T = \lambda^2(n_0^2\sigma_0 - n_1^2\sigma_1 - 2n_0 n_1 \sigma_{01}).$$

Die Verbindung der beiden letzten Gleichungen liefert:

$$\frac{T}{a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots} = \frac{n_0^2\sigma_0 + n_1^2\sigma_1 - 2n_0 n_1 \sigma_{01}}{b_0 + b_{10}\sigma_0 + b_{11}\sigma_1 + b_{200}\sigma_0^2 + b_{211}\sigma_1^2 + b_{201}\sigma_0\sigma_1 + \dots}$$

und hieraus erkennt man sofort, daß σ_{01} durch ganze Potenzen der drei Größen σ_0, σ_1, T darstellbar ist, aber auch, daß T durch ganze Potenzen von σ_0, σ_1, σ_{01} darstellbar ist. Man merkt leicht, daß auch der Ausdruck

$$Y(n_0 p_0 - n_1 p_1) + Z(n_0 q_0 + n_1 q_1)$$

durch ganze Potenzen, sowohl von σ_0, σ_1, σ_{01} als auch von σ_0, σ_1, T darstellbar ist Hieraus und aus § 5 Gleichung 36 folgt dann leicht die Richtigkeit der Schwarzschildschen Angaben.

Die von Kerber aufgeführten Koeffizienten sind daher nicht im strengen Sinne voneinander unabhängig, denn es kann in der Tat nur neun unabhängige Koeffizienten der Glieder fünfter Ordnung geben. Von der Wahl der Variabeln kann diese Zahl nicht abhängen, wie Kerber glaubhaft machen will; auch wenn man die Entwicklung nach seinen Variabeln $R_1^2 = M_1^2 + m_1^2$, $m_1 l_1$ und l_1^2 vornimmt, erhält man nur neun unabhängige Koeffizienten. Seine Entwicklungen sind viel zu allgemein. Die Koeffizienten $\alpha, \beta, \gamma \dots \xi$ und $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0 \dots \xi_0$ der Glieder vierter Ordnung in den Gleichungen 18 und 19 (Abschnitt V seiner „Beiträge zur allgemeinen Fehlertheorie") sind ebenso voneinander abhängig wie die Koeffizienten der Glieder zweiter Ordnung, für die er den Nachweis der Abhängigkeit gibt. In der bereits erwähnten Schlußbemerkung gibt Kerber auch zu, Petzval habe nicht erwähnt, daß zur Beseitigung der Fehler bis zur fünften Ordnung in einem achsensymmetrischen, sphärischen Linsensystem nur $5 + 9 = 14$ und nicht $5 + 12 = 17$ Bedingungsgleichungen zu erfüllen sind.

In einem späteren Aufsatze gedenke ich die Abhängigkeit der Kerberschen Koeffizienten nachzuweisen, zur Entscheidung der im Thema gestellten Frage ist das allerdings nicht mehr nötig. Es gibt nur neun voneinander unabhängige Fehler fünfter Ordnung in rotationssymmetrischen optischen Instrumenten.

Ermittelung der Punktlage bei stereophotogrammetrischen Aufnahmen mit horizontaler Kamera-Achsen.

Von
Dipl.-Ing. Dr.-Ing. **H. Lüscher** in Jena.

I. Ermittelung der Punktlage für parallele horizontale Kamera-Achsen.

Die typischen Fälle der Stellung horizontaler Kamera-Achsen.

Bei stereophotogrammetrischen Aufnahmen mit horizontalen Achsen, wie sie für terrestrische Zwecke fast ausnahmslos in Frage kommen, unterscheidet man je nach der Stellung der Achsen zueinander folgende 3 Fälle:

1. Normalfall.

Die Achsen sind untereinander parallel und senkrecht zur Basis; die Platten liegen also in einer zur Basis parallelen Ebene (Fig. 1).

2. Fall der Verschwenkung.

Die Achsen sind parallel nach links oder rechts gegen die Basis verschwenkt; die Plattenebenen sind einander parallel und schließen mit der Basis den Verschwenkungswinkel φ ein (Fig. 2).

3. Konvergenzfall.

Die Achsen sind gegeneinander geneigt und schließen den Winkel γ, den sogen. *Konvergenzwinkel* ein. Die Plattenebenen schneiden die Basis unter dem Winkel φ_1 bzw. φ_2 (Fig. 3).

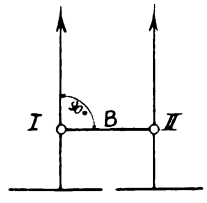


Fig. 1.

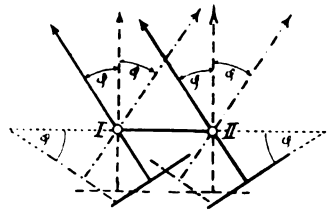


Fig. 2.

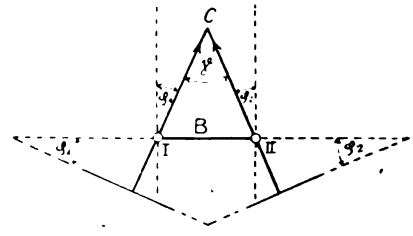


Fig. 3.

Eine Divergenz der beiden Achsen kann als eine *negative Konvergenz* aufgefaßt werden.

Wird der Neigungswinkel der linken Achse gegen die Basis 90^0, so haben wir den sog. Fall der Normalkonvergenz, d. h. die linke Aufnahme erfolgt in Normalstellung und nur die rechte Achse konvergiert.

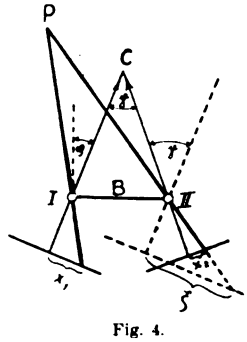


Fig. 4.

Den vorher erwähnten allgemeinen Fall der Konvergenz, in dem beide Platten gegen die Basis geneigt sind, können wir uns auch entstanden denken aus einer Aufnahme mit parallel verschwenkten Achsen und aus einer Konvergenz der rechten Achse (Fig. 4). Bei dieser Auffassung kann man Aufnahmen mit beliebig gerichteten horizontalen Achsen stets auf eine Verschwenkung (um den Winkel φ_1) der linken Achse und eine Konvergenz der rechten zurückführen, so daß man

für die Rechnung die Gleichungen des Verschwenkungsfalles verwenden kann, wenn man darin nur für die am Komparator abgelesenen x_2-Werte die durch Umprojektion auf die dem Verschwenkungsfall entsprechende Plattenstellung sich ergebenden ξ-Werte einsetzt.

Ermittelung der Punktlage beim Normalfall.

Die Lage eines Punktes im Raume gegenüber dem Objektiv der linken Kamerastation ist durch folgende 3 Raumkoordinaten gegeben:

1. Horizontaler Abstand des Punktes vom Objektiv gemessen in der Richtung der linken optischen Achse (A).
2. Abstand der Projektion des Punktes auf den Horizont von der linken optischen Achse (X).
3. Abstand des Punktes von dem durch die linke optische Achse gelegten Horizont (Y).

1. Rechnerisch.

Unter Zugrundelegung der Aufnahmebrennweite und Basis, sowie der am Komparator gemessenen Parallaxe $a = x_1 - x_2$, der Bildabszisse x_1 und der linken Bildordinate y ergeben sich die Raumkoordinaten nach folgenden bekannten Formeln:

$$A = \frac{B \cdot f}{a} = \frac{B \cdot f}{x_1 - x_2}$$

$$X = \frac{A \cdot x_1}{f} = \frac{B \cdot x_1}{a}$$

$$Y = \frac{A \cdot y}{f} = \frac{B \cdot y}{a}.$$

2. Graphisch (nach Dr. Pulfrich).

Auf Grund dieser Formeln wurde bereits im Jahre 1903 von Dr. Pulfrich ein graphisches Verfahren angegeben, das sich mit geringen praktischen Vereinfachungen in der Praxis als das einfachste und rascheste erwiesen hat und zu dessen Gebrauch von der Firma Zeiss in Jena besonders hergerichtete Zeichenbretter mit Schwenklinealen geliefert werden. (Vgl. *Zeitschr. f. Instrumentenkunde* **23.** *S. 307. 1903*: „Über einen Versuch zur praktischen Erprobung der Stereophotogrammetrie für die Zwecke der Topographie.)

Errichtet man nämlich auf der durch den Standpunkt gehenden optischen Achse in der Entfernung der n-fachen Brennweite (in Millimeter) ein Lot (FC in Fig. 5) und trägt hierauf die Prallaxe $n \cdot p$-fach vergrößert in Millimeter auf, verbindet dann den so gefundenen Punkt C mit dem Standpunkte, so ergibt der Schnitt dieser Geraden mit einer im p-fachen Basisabstand (im Maßstab des Planes aufgetragen) parallel zur optischen Achse gezogenen Linie den Punkt S in dem richtigen Abstand A des gesuchten Punktes (gemessen im Maßstab des Planes).

Denn es besteht die Beziehung:

$$A : p \cdot B = n \cdot f : n \cdot p \cdot a \qquad \text{oder}$$

$$A = \frac{n \cdot f \cdot p \cdot B}{n \cdot p \cdot a} = \frac{B \cdot f}{a}.$$

Durch Auftragung der $n \cdot p$-fach vergrößerten Parallaxenwerte wird eine Einbuße an Genauigkeit der am Komparator auf 0,01 mm abgelesenen a-Werte bei ihrer zeichnerischen Verwertung vermieden, und es ergeben sich günstige Schnitte.

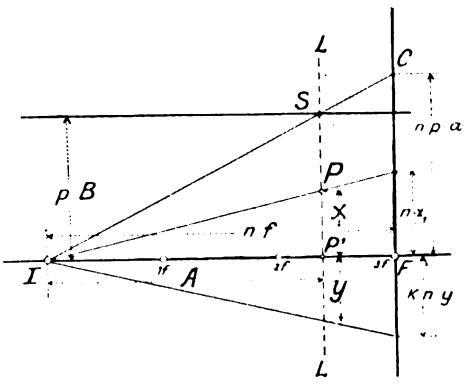


Fig. 5.

Um die Punktlage im Grundriß auf der durch S normal zur optischen Achse gezogenen Geraden LL zu erhalten, trägt man auf dem in der n-fachen Brennweite errichteten Lot FC die Bildabszisse x_1 n-fach vergrößert auf und verbindet den Endpunkt mit I.

Der Schnitt dieses Strahles mit der Geraden LL bezeichnet die Lage des Punktes im Grundriß und die Entfernung PP' ist gleich der gesuchten Raumabszisse X im Maßstab des Planes. Denn es ist:

$$A : n \cdot f = X : n \cdot x_1; \quad X = \frac{A \cdot n \cdot x_1}{n \cdot f} = \frac{A \cdot x_1}{f}.$$

In analoger Weise ergibt sich die Höhe des Punktes über dem Kamerahorizont für die die entsprechende Beziehung besteht:

$$A : n \cdot f = Y : n \cdot y; \quad Y = \frac{A \cdot n \cdot y}{n \cdot f},$$

$$Y = \frac{A \cdot y}{f}.$$

Diese relative Höhe Y ist dann im Maßstab des Planes abzumessen und zur Horizonthöhe hinzuzufügen, bzw. davon abzuziehen, womit der Punkt auch seiner absoluten Höhe nach festgelegt ist.

Zur Erzielung einer größeren Ablesegenauigkeit der Höhen empfiehlt es sich, den Maßstab für die y-Werte stärker vergrößert als für die x_1-Werte zu wählen (n_y etwa 2 bis $3 \times n_{x_1}$) und die Ablesung der Höhen nicht im Planmaßstab, sondern n dem entsprechend vergrößerten Höhenmaßstab vorzunehmen.

Unter Benützung der von der Firma Zeiss für dieses Auftrageverfahren gelieferten Hilfsmittel, bestehend aus Zeichenbrett mit Drehlineal, einem Führungslineal und Metalldreieck, geht das Auftragen der Punkte, deren a-, x_1- und y-Werte in einer Liste dem Zeichner vorliegen, außerordentlich flott vor sich, besonders, wenn man noch den Maßstab für das Ablesen der Höhen direkt auf das verschiebbare Dreieck verlegt (vgl. 1. Lüscher: „Beispiel einer stereophotogrammetrischen Terrainaufnahme aus der Praxis", *Arch. f. Photogrammetrie III, Wien 1912, S. 25.* 2. Pulfrich: „Über die Konstruktion der Lage und Höhe eines Punktes nach stereophotogrammetrischen Aufnahmen mit gleichmäßig nach links oder rechts verschwenkten Achsen", *Zeitschr. f. Instrumentenkunde* **32.** *S. 261 und 281. 1912* und *Arch. f. Photogrammetrie, Band III, Wien 1912, S. 176*).

Ein gewandter Zeichner ist dabei nach einiger Übung imstande, die Auftragung eines Punktes mit Höhenermittelung in der kurzen Zeit von 20—30 Sekunden zu bewerkstelligen. Nähere Angaben über den Gebrauch und die Einrichtung der von Dr. Pulfrich angegebenen Hilfsmittel für die Kartierung bei stereophotogrammetrischen

Aufnahmen findet man im *Archiv für Photogrammetrie, Band II, Heft 2.* Vgl. auch die als Manuskript gedruckte Arbeit von Dr. Pulfrich „über einige Vereinfachungen des Kartierungsverfahrens bei stereophotogrammetrischen Arbeiten", Jena 1916. Die zweckmäßige Aufmachung des Zeichenbrettes für den Normalfall ist aus Planbeilage 1 ersichtlich.

Ermittelung der Punktlage für den Verschwenkungsfall.

Von den Auftrageverfahren für die Ermittelung der Punktlage im Falle parallel verschwenkter Kamera-Achsen sind die bekanntesten folgende:

1. Verfahren nach Prof. Fuchs (vgl. v. Hübl: „Beiträge zur Stereophotogrammetrie", *Mitt. d. k. k. Militärgeographischen Instituts Wien, Band 24, 1905*).
2. Verfahren von Dr. Pulfrich (vgl. *Internat. Arch. f. Photogrammetrie, 1912, III, Heft 3*).
3. Verfahren der Reciprokenskala (vgl. *Internat. Arch. f. Photogrammetrie, Band III, Heft 4*).

Die beiden ersten Verfahren erhalten die Punktlage entweder auf dem Umweg über den Normalfall, oder sie setzen zu ihrer Vereinfachung das Arbeiten auf bestimmten Profilen voraus. Im ersteren Falle werden sie für die Praxis zu umständlich, im letzteren bedeuten sie eine Beschränkung der Punktwahl, die lediglich vom Charakter des Geländes abhängig sein sollte.

Nur in besonders günstigen Spezialfällen sind sie daher und unter ihnen vor allem das Pulfrichsche mit Erfolg anzuwenden.

Das dritte Verfahren der Reciprokenskala oder des Reciprokendreiecks erfordert eine umständlichere mechanische Zeichenvorrichtung und die jedesmalige Konstruktion einer Grundparabel. Es hat sich deshalb ebenfalls wenig in der Praxis eingeführt.

Im folgenden soll daher ein neues, bereits 1912 vom Verfasser ausgearbeitetes und praktisch erprobtes, aber noch nicht veröffentlichtes Verfahren angegeben werden dem die Mängel der angeführten Verfahren nicht anhaften und das in ganz ähnlich einfacher Weise wie beim Normalfall zum Ziele führt.

Verfahren der variablen Brennweite.

1. Ableitung der Abstandsformel.

Es seien in Fig. 6 *I* die linke, *II* die rechte Kamerastation, C_1 und C_2 die optischen Achsen, x_1 und a die zur Lagebestimmung notwendigen Komparatorablesungen. Man kann sich nun die gleichen Bildabszissen x_1 und $x_2 = x_1 + a$[1]) hervorgerufen denken durch eine Normalaufnahme, deren Objektiv sich im Schnittpunkt des Strahles R_2 mit der Normalbasis B', nämlich in II' befindet, der also eine mit dem Strahl R_2 *variierende* Basis $I—II'$ zugrunde liegt. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $II\,II'\,II''$ und $II\,P_2\,N$ ergibt sich

$$m = \frac{B \cdot \sin q \cdot x_2}{f}$$

[1]) Beim Durchblick durch den Komparator sind die Abszissen rechts der optischen Achse positiv und links negativ zu setzen. Bei durchgehender Maßstabsbezifferung wird der Vorzeichenwechsel vermieden und ist x_2 stets $= x_1 - a$.

und da $I\,II''$ $B' = B \cdot \cos\varphi$, so erhält man für die variable Ersatzbasis $I\,II'$

$$I\,II' = B \cdot \cos\varphi + \frac{B \cdot \sin\varphi \cdot x_2}{f}.$$

Setzen wir diesen Wert in der Abstandsgleichung für den Normalfall $\left(A = \frac{B \cdot f}{a}\right)$ an Stelle der Basis ein, so erhalten wir die Abstandsgleichung für den Fall der parallelverschwenkten Kamera-Achsen:

$$A = \frac{B}{a} \cdot (f \cos\varphi \pm x_2 \cdot \sin\varphi),$$

worin das $+$-Zeichen für die Links-, das $-$-Zeichen für die Rechtsverschwenkung gilt.

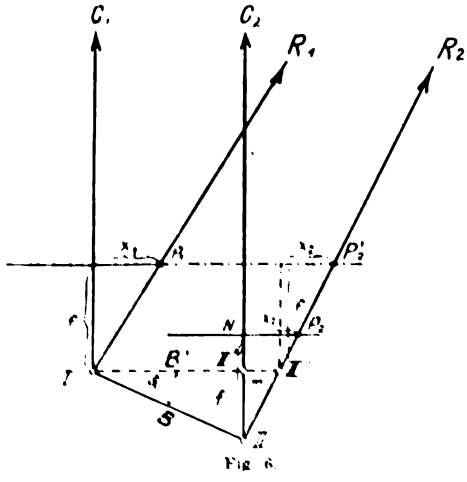


Fig. 6

Diese Formel hat genau den gleichen Aufbau wie die Normalabstandsformel.

Es ist nur an Stelle der festen Brennweite eine variable, von x_2 abhängige Brennweite

$$f' = f \cdot \cos\varphi \pm x_2 \cdot \sin\varphi$$

getreten.

2. Graphisch.

Da die Abhängigkeit dieses f'-Wertes von x_2 einen einfachen linearen Verlauf nimmt, so läßt sich mit geringer Mühe für einen bestimmten Verschwenkungswinkel φ und eine Aufnahmebrennweite f durch Berechnung zweier Punkte und Verbinden derselben durch eine Gerade ein Diagramm entwerfen, aus dem man für einen beliebigen x_2-Wert das ihm zukommende f' entnehmen kann. (Siehe Fig. 7.)

Für die gebräuchlichen Aufnahmebrennweiten zwischen 10 und 60 cm würde dabei bei Auftragung in natürlicher Größe die für die Bestimmung der Ersatzbrennweite zu fordernde Genauigkeit von $^1/_{1000}$ der Länge graphisch ohne weiteres zu erreichen sein.

Man könnte also aus einem derartigen Diagramm je nach der Größe von x_2 sich die entsprechende Brennweite f' abgreifen und auf Grund des von Dr. Pulfrich für den Normalfall gegebenen Auftrageverfahrens die Punktlage ermitteln.

Da nun aber die in die graphische Punktkonstruktion einzuführende Ersatzbrennweite für jeden Punkt mit einem anderen x_2-Wert wechselt, so müßte man demnach den auf der optischen Achse in dem Abstand der n-fachen Aufnahmebrennweite normal errichteten Parallaxenmaßstab entsprechend dem jeweiligem f' auf der Achse wandern lassen. Legt man also Fig. 8 in dem Abstand $n \cdot f'$ vom Drehpol I den Parallaxenmaßstab an und konstruiert wie im Normalfall, so ergibt sich ohne weiteres der richtige Punktabstand, denn die Konstruktion entspricht der Gleichung

$$A = \frac{n \cdot f'}{p} \cdot \frac{B}{a} = \frac{n}{p} \cdot \frac{B}{a} \cdot (f \cos\varphi \pm x_2 \sin\varphi).$$

Die Lage des Punktes im Grundriß sowie dessen Höhe gegen den Kamerahorizont erhält man in einfacher Weise durch Ziehen der durch x_2 und p definierten Strahlen.

Sollte man nur für jeden Punkt erst aus dem Diagramm die seinem x_2-Wert zukommende Ersatzbrennweite entnehmen, dann aber die Punktlage

auftragen und in dieser Weise konstruieren, so hätte dies Verfahren seiner Umständlichkeit halber keine praktische Bedeutung. Versieht man dagegen das Klemmlineal der Zeichenvorrichtung mit einem Maßstab, den man so beziffert, daß für jeden Abstand $n \cdot f'$ vom Drehpol sofort das zugehörige x_2 abgelesen wird, so gewinnt man damit die Möglichkeit, das Diagramm vollständig zu umgehen. Bringt man ferner noch die Parallaxenskala auf der langen Kathete des Zeichendreiecks an, so vereinfacht sich das ganze Verfahren derart, daß es dem Normalauftrageverfahren an Arbeitsaufwand nur wenig nachsteht. Ein praktisches Beispiel soll den Arbeitsvorgang erläutern (siehe Planbeilage 2).

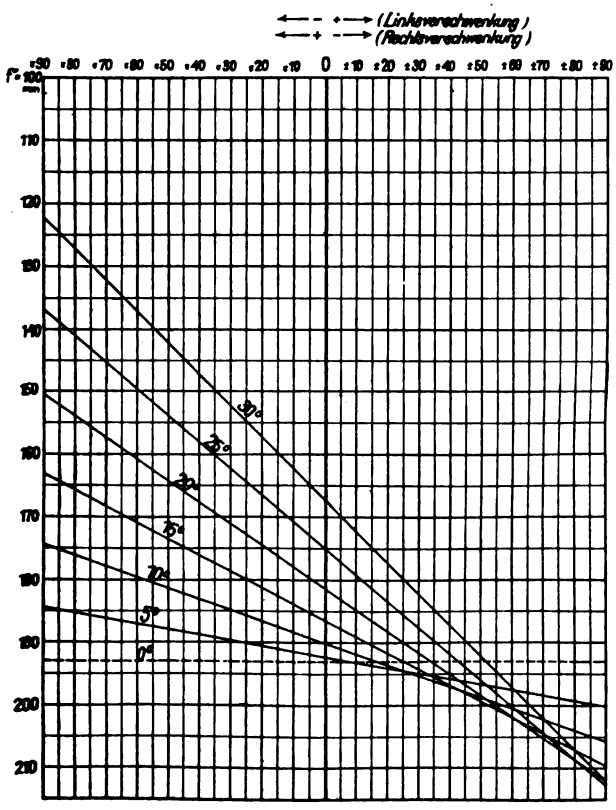


Fig. 7.

Es liegt eine Aufnahme mit

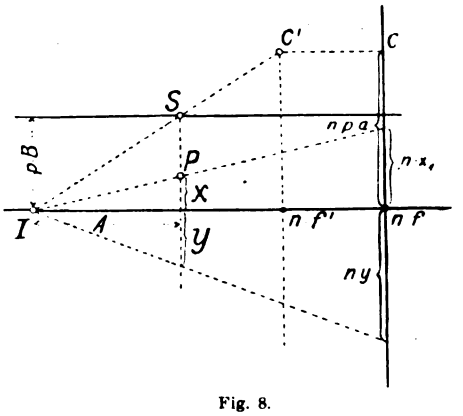


Fig. 8.

30^0 Linksverschwenkung und einer Brennweite von $f = 193{,}02$ mm im Format 13×18 vor.

Die Bildabszissen x_2 können bei einer Platte 13×18 die Werte von -90 bis $+90$ mm annehmen.

Für diesen Bereich rechnen wir uns die zugehörigen Ersatzbrennweiten aus. Es ist:

$$f' = f \cdot \cos\varphi + x_2 \cdot \sin\varphi$$

und für $\varphi = 30^0$ und

$$f = 193{,}02 \text{ mm}$$
$$f' = 0{,}866 \cdot 193{,}02 + 0{,}5 \cdot x_2.$$

Nach dieser Formel stellen wir die auf folgender Seite stehende Tabelle auf.

Die Ersatzbrennweite ist gleich der Aufnahmebrennweite, wenn

$$f \cdot (\cos\varphi - 1) = -x_2 \cdot \sin\varphi,$$

das heißt, wenn

$$x_2 = -f \frac{(\cos\varphi - 1)}{\sin\varphi} = +51{,}78 \text{ mm}.$$

Die Lage des Parallaxenmaßstabes im Normalfall in der Entfernung $n \cdot f$ entspricht also in unserem Verschwenkungsfall der Einstellung des verschiebbaren Parallaxenmaßstabes auf $x_2 = +51{,}78$ mm.

x_2 = mm	f' = mm	x_2 = mm	f' = mm
— 90	122,2	± 0	167,2
— 80	127,2	+ 10	172,2
— 70	132,2	+ 20	177,2
— 60	137,2	+ 30	182,2
— 50	142,2	+ 40	187,2
— 40	147,2	+ 50	192,2
— 30	152,2	+ 60	197,2
— 20	157,2	+ 70	202,2
— 10	162,2	+ 80	207,2
± 0	167,2	+ 90	212,2

Der obigen Tabelle entsprechend ordnen wir einen Maßstab auf dem Klemmlineal derart an, daß sich bei Einstellung der Dreieckskathete auf den Wert x_2 des aufzutragenden Punktes sich der auf ihr angebrachte Parallaxenmaßstab in dem Abstand $n \cdot f'$ vom Standpunkt befindet.

Für den Fall, daß die aufzutragenden vergrößerten Parallaxenwerte $(n \cdot p \cdot a)$ den Bereich des Zeichenbrettes überschreiten sollen, stellt man sich in ähnlicher Weise, wie für den Normalfall üblich, einen zweiten bzw. dritten Parallaxenmaßstab (evtl. auf einem besonderen Dreieck) von der Vergrößerung $(n-1) \cdot p \cdot a$ bzw. $(n-2) \cdot p \cdot a$ her, für dessen Anlegen in dem Abstand $(n-1) \cdot f'$ bzw. $(n-2) \cdot f'$ man am Klemmlineal ebenfalls noch einen zweiten bzw. dritten x_2-Maßstab für $n-1$ bzw. $n-2$ anbringen muß.[1])

Da man nun in der Praxis fast ausschließlich mit festen Verschwenkungswinkeln von 30^0 (35 g) links oder 30^0 (35 g) rechts arbeitet, so ist der einmal so konstruierte x_2-Maßstab für ein und dieselbe Feldausrüstung, d. h. Aufnahmebrennweite, stets derselbe. Ebenso bleibt für Links- und Rechtsverschwenkung die Teilung und Beziffe-rung die gleiche und lediglich das Vorzeichen der letzteren kehrt sich um. Für alle mit derselben Kamera erhaltenen Aufnahmen genügt demnach die einmalige Anfertigung eines solchen x_2-Maßstabes, so daß es sich empfiehlt, bereits bei Bestellung der Zeichenvorrichtung sich das Klemmlineal derart geteilt und beziffert liefern zu lassen. Ein so hergerichtetes Klemmlineal würde für die Ansprüche der Praxis völlig ausreichen und nur die ausnahmsweise vorkommenden Aufnahmen mit anderen Verschwenkungswinkeln als 30^0 würden dann jeweils die Herstellung eines besonderen x_2-Maßstabes, die aber, wie vorher beschrieben, äußerst einfach und rasch erfolgen kann, verlangen.

Arbeitet man auf Pauspapier, so kann der x_2-Maßstab anstatt auf der Leitschiene auch auf der Zeichenpapierunterlage, wie sonst für die x- und y-Maßstäbe üblich, angebracht werden. Die x_2-Maßstäbe werden dann zweckmäßig um den Abstand des auf dem Dreieck angebrachten Parallaxenmaßstabes von der Dreieckskante verschoben, so daß das Einstellen auf den x_2-Wert direkt von der Dreieckskante erfolgen kann.

Im übrigen wird das Reißbrett wie für den Normalfall hergerichtet (Ziehen einer zur optischen Achse in p-fachen Basisabstand verlaufenden Parallelen, Anordnung

[1]) Wählt man dabei, was für die Praxis empfehlenswert, den Koeffizienten des neuen Parallaxenmaßstabes zu $\frac{n}{2}$, so kann man den Maßstab für n mitbenutzen, indem man lediglich noch eine Bezifferung nach halben Intervallen anbringt.

des x_1- und y-Maßstabes in n-facher Brennweite und entsprechender Bezifferung derselben. Die Höhenskala findet auf der äußeren Dreieckskathete ihren Platz).

Der Höhenmaßstab wird zur Steigerung der Ablesegenauigkeit gegenüber dem Planmaßstab zwei- bis dreifach vergrößert und dementsprechend auch der Maßstab für die Bildordinaten.

Entgegen der meist früher gebräuchlichen Anordnung empfiehlt es sich, den Parallaxenmaßstab auf die Seite des Klemmlineals zu verlegen, weil dort ein etwaiges ungenaues Anliegen des Dreiecks am Klemmlineal die geringeren Abweichungen der Skala zur Folge hat. Die vollständige und zweckmäßige Aufmachung des Zeichenbrettes ist aus dem der Abhandlung beigefügten praktischen Beispiel zu ersehen.

Die der Auftragung zugrunde liegende Aufnahme erfolgte mit einer Standlinie von 580,5 m. Der Objektivhorizont lag 2348,4 m über dem Meeresspiegel. Die Vergrößerungskoeffizienten p und n sind zu 5 und 3 gewählt, bzw. für y-Werte zu $2n = 6$. Der Auftragemaßstab beträgt 1 : 20000.

Die Komparatormessungen der aufzutragenden Punkte liegen zweckmäßig in einer Liste vereinigt, etwa in folgender Form vor:

Standpunkt II, 10; $B = 580{,}50$ m; Horizont 2348,4 m üb. M.

$\varphi = 30^0$ ⟍ ; $f = 193{,}02$ mm

$x_{1_0} = 110{,}00$
$x_{2_0} = 110{,}00$
$y_0 = 70{,}00$

Punkt	a	x_1	$x_2 = x_1 - a$	y	$\triangle$ h	H. ü. M.	Bemerkungen
1	8,65	74,51	65,86	91,08	+ 6,4	3420,4	$\triangle$ trig.
2	20,37	98,30	77,93	41,10	+ 1,3	1711,3	
3	15,12	68,53	53,41	60,14	+ 2,0	2086,0	Wegkreuzung
4	18,19	172,25	154,06	100,96	+ 2,5	3308,5	

Zur Auftragung benötigen wir ferner die x_2-Werte, die entweder berechnet ($x_2 = x_1 - a$ für durchlaufende Bezifferung des x-Maßstabes) oder an einem, am Parallaxenschlitten des Komparators hierfür besonders anzubringenden Maßstab abgelesen und in die entsprechende Rubrik der Liste eingetragen werden. Dies bedeutet die einzige Mehrarbeit des Verfahrens, die gegenüber dem Normalfall erforderlich ist. Im Verzeichnis ist ferner noch eine Rubrik für die Eintragung der in unserem Beispiel nötigen Erdkrümmungs- und Refraktionskorrektur der Höhen, sowie eine weitere für die sich durch die Auftragung ergebenden Meereshöhen angereiht.

Der besseren Übersicht halber ist nur 1 Punkt mit seinen Konstruktionslinien (dieselben werden praktisch nicht ausgezogen, sondern es genügt das entsprechende Anlegen von Lineal und Dreieck) aufgezeichnet.

Die Auftragung eines Punktes, beispielsweise des Punktes 1 geht im Sinne des Vorhergehenden folgendermaßen vor sich: (Vgl. Planbeilage 2.)

Wir entnehmen dem Punktverzeichnis den Wert $x_2 = 65{,}86$, stellen die Parallaxenskala auf der Dreieckskathete an dem entsprechenden Teilstrich des x_2-Maßstabes am Klemmlineal an und bringen das Schwenklineal in die dem Parallaxenwerte $a = 8{,}65$ zukommende Stellung. In dieser Lage halten wir das Lineal fest, schieben das Dreieck dem Führungslineal entlang bis zum Schnitt des Schwenklineals mit der im Abstande $p_{..}.B$ zur optischen Achse gezogenen Parallelen. Bringt man dann das Schwenklineal in die Lage des durch die Abszisse $x_1 = 74{,}51$ bestimmten Strahles, so ergibt sein Schnitt mit der im gesuchten Abstande A befindlichen Dreiecksseite die Punktlage im Grundriß.

Die Höhenermittelung wird dann in üblicher Weise vorgenommen: Man legt das Schwenklineal an den Teilstrich $y = 91{,}08$ des Ordinatenmaßstabes an und liest an dem, in dem Punktmaßstab angelegten Höhenmaßstab die Höhe H. ü. M. $= 3414$ unmittelbar ab.

Zu dieser ist dann noch in unserem Falle die der Punktentfernung I—1 zukommende Erdkrümmungs- und Refraktionsverbesserung $\Delta h = 6{,}4$ m hinzuzufügen.

In der hier angegebenen Weise ist es möglich, bei einiger Übung die Auftragung eines Punktes in der durchschnittlichen Zeit von ungefähr 45 Sekunden zu bewerkstelligen.

Das Herrichten der Zeichenfläche verursacht, da der x_2-Maßstab am Klemmlineal für alle 30°-Verschwenkungen derselben Brennweite gilt, nicht mehr Mühe, als auch beim Normalfall.

Die einzige praktische Mehrarbeit besteht in der bereits erwähnten Ermittelung der x_2-Werte und der entgegen dem Normalfall noch hinzukommenden jedesmaligen Einstellung der Parallaxenskala am x_2-Maßstab.

Die Auftragegenauigkeit kann wie beim Verfahren für den Normalfall innerhalb der durch die Zeichengenauigkeit gegebenen Grenzen von $^1/_{10}$ mm durch entsprechende Wahl der Vergrößerungskoeffizienten n und p gehalten werden.

II. Ermittelung der Punktlage für beliebig gerichtete horizontale Achsen durch Reduktion der rechten Plattenabszissen.

Eine mit Konvergenz behaftete Aufnahme läßt sich stets auf eine Aufnahme mit parallelen Achsen zurückführen, wenn die aus den Komparatormessungen erhaltenen x_2-Werte (Abszissen der rechten Platte) auf eine zur linken Aufnahmerichtung $I C_1$ parallel gedachte Aufnahme $II C_2$ reduziert und dementsprechend die Parallaxenwerte verbessert werden.

Nach Fig. 9 ist an Stelle von x_2 der auf eine parallele Achsenstellung reduzierte Wert ξ einzuführen. Die reduzierte Abszisse ξ der rechten Platte und die Verbesserung $\Delta x_2 = x_2 - \xi$ der gemessenen Parallaxenwerte ergibt sich wie folgt:

Es ist $\xi = c \operatorname{tg}(\varphi_2 - \gamma)$, worin γ den Konvergenzwinkel bedeutet.

oder

Hieraus tg ... und ... eingesetzt:

Hieraus ist

oder

Rechnet man nach Gleichung 2) für einen gegebenen Konvergenzwinkel[1]) γ und verschiedene runde x_2-Werte die zugehörigen Δa-Werte aus und trägt wie in Fig. 10 die Δa-Werte stark vergrößert als Ordinaten, die x_2-Werte ebenfalls vergrößert als Abszissen in einem Koordinatensystem auf; so erhält man ein Diagramm, aus dem man ohne weiteres die jedem beliebigen x_2-Wert zukommende Parallaxenkorrektur Δa auf 0,01 mm genau entnehmen kann.

Mit Hilfe eines solchen Diagramms ist man in der Lage, eine um den Winkel γ konvergente Aufnahme nach dem Verfahren für parallele Achsen ohne weiteres auszuwerten.

Die Platten werden wie üblich ausgemessen und die Ablesungen x_1, a und y gemacht. In einer besonderen Rubrik wird die Differenz $x_1 - a = x_2$ gebildet (auch für das Auftrageverfahren der variablen Brennweite notwendig). In einer zweiten Rubrik werden die nach dem Diagramm um Δa verbesserten Parallaxenwerte eingetragen, im Falle auch Verschwenkung vorliegt, die den gemessenen x_2-Werten entsprechenden ξ-Werte, wobei $\xi = x_2 - \Delta a$ ist. Vgl. hierzu das Formular am Ende des Aufsatzes.

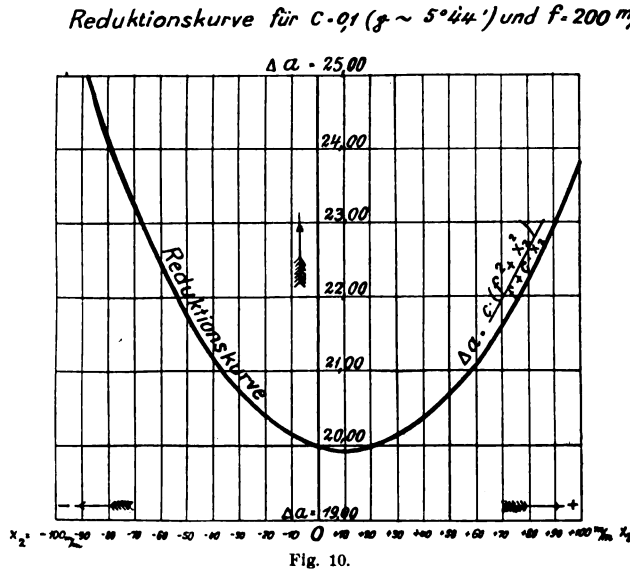


Fig. 10.

Die weitere Verarbeitung geschieht entweder rechnerisch durch Einführung der korrigierten Parallaxenwerte und der x_2-Werte in die bekannten Gleichungen oder graphisch nach einem der bekannten Auftrageverfahren. Liegt auch Verschwenkung der linken Platte vor, so ist das Verfahren der variablen Brennweite am geeignetsten, weil bei diesem das Zeichenbrett am einfachsten für beliebige Verschwenkungswinkel herzurichten ist.

Da sich der allgemeine Fall horizontaler Achsen stets als eine Verschwenkung der linken und eine Konvergenz der rechten Achse auffassen läßt, so ist hiermit ein Verfahren gegeben, das beliebig gerichtete horizontale Aufnahmen in einfacher Weise auszuwerten gestattet. (Eine Divergenz wäre als negative Konvergenz einzuführen.)

---

[1]) Die Ermittelung des Konvergenzwinkels erfolgt am besten aus den Plattenabszissen eines in dem Aufnahmebereich liegenden und seiner Lage nach zum linken Standpunkt bekannten Kontrollpunktes. Durch Auflösung der Abstandsgleichung für den Fall beliebig gerichteter horizontaler Kamera-Achsen:

$$A = \frac{B \cdot f\,[\cos\varphi\,(f + x_2 \cdot \operatorname{tg}\gamma) \pm \sin\varphi\,(x_2 - f \cdot \operatorname{tg}\gamma)]}{a \cdot f + \operatorname{tg}\gamma\,(x_1 \cdot x_2 + f^2)},$$

nach γ ergibt sich dann:

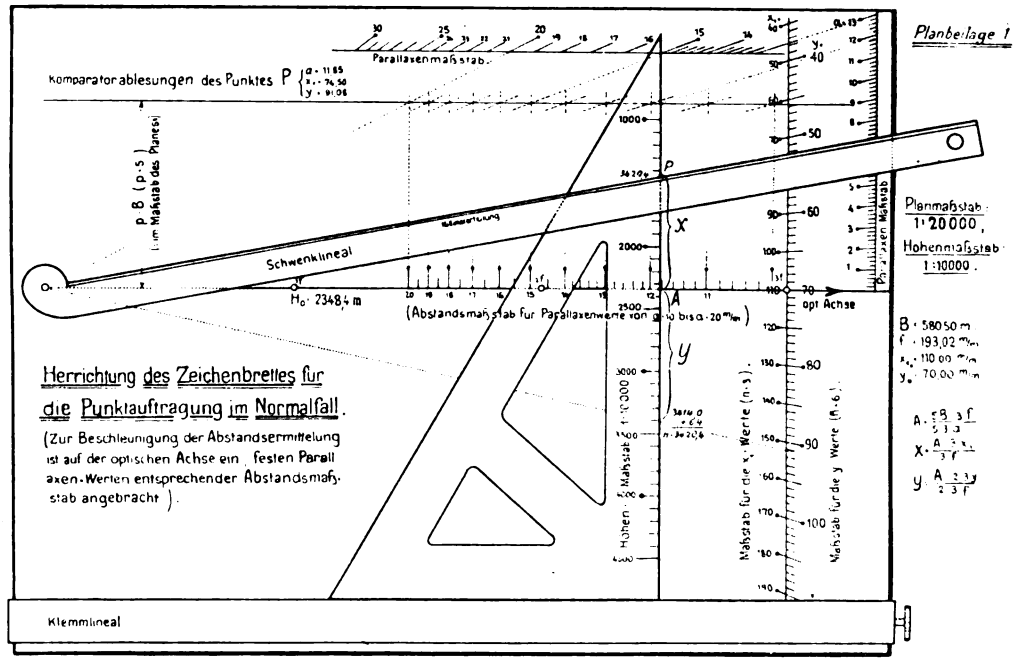
$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{B \cdot f\,(f \cdot \cos\varphi \pm x_2 \cdot \sin\varphi) - A \cdot a \cdot f}{A\,(x_1 \cdot x_2 + f^2) - B \cdot f\,(x_2 \cdot \cos\varphi \mp f \cdot \sin\varphi)},$$

oder für logarithmische Rechnung bequemer:

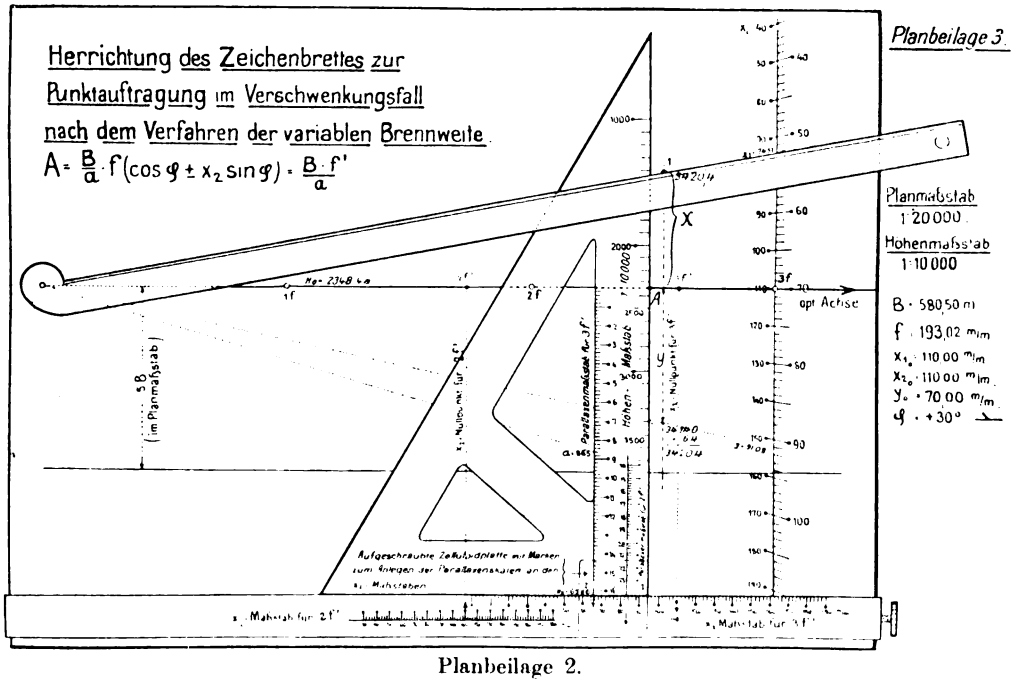
$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{f \cdot \cos\varphi \pm x_2 \cdot \sin\varphi - a\,\frac{A}{B}}{\pm f \cdot \sin\varphi - x_2 \cdot \cos\varphi + \left(\frac{x_1 \cdot x_2}{f} + f\right)\frac{A}{B}}.$$

Formular für Punktausmessung.

Punkt Nr.	a	x_1	$x_2=(x_1-a)$	Δa nach Diag.	$a+\Delta a$	$\xi=x_1-(a+\Delta a)$	y	A	X	H. üb. N.N.	Bemerkung



Planbeilage 1.



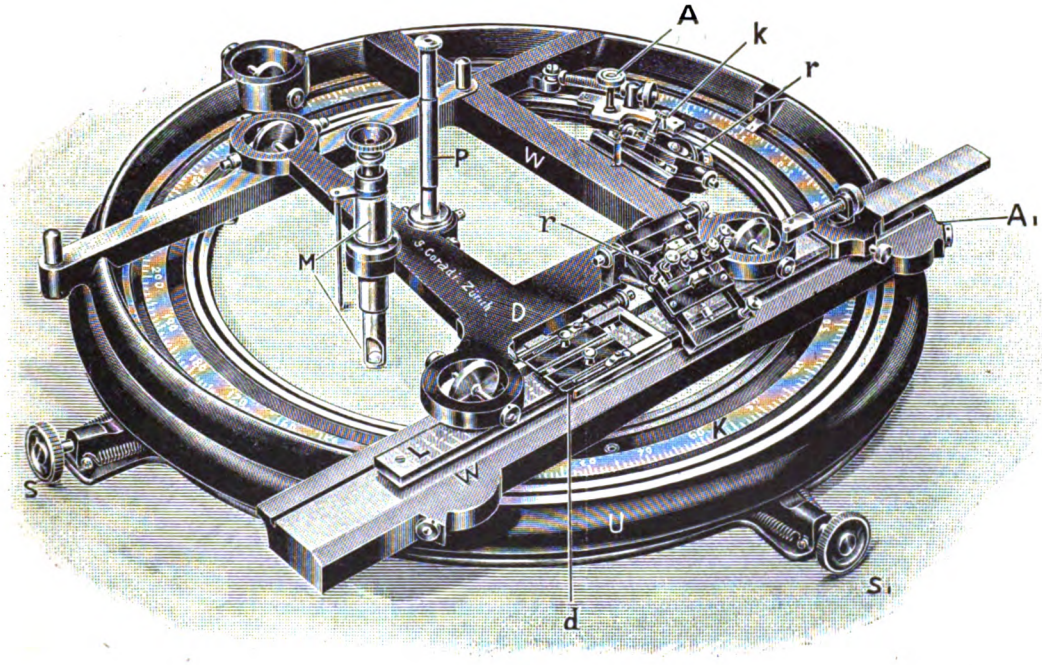
Planbeilage 2.

Referate.

Coradis Polarkoordinatograph.

Von A. Staerkle. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermess. u. Kulturtechnik.* ***19.*** *S. 13* und *S. 33. 1921.*

Mit der Verfeinerung der „Präzisionstachymetrie“ bis zu dem Grade, der sie zur Anwendung auf Grundstücksaufnahmen für Katasterzwecke, besonders im Hügel- und Bergland brauchbar macht, ist naturgemäß der Wunsch unabweisbar geworden, ein Werkzeug zum Auftragen von Lageplänen unmittelbar nach den im Feld erhobenen Polarkoordinaten zu erhalten. Während zum raschen und genauen Auftragen von Aufnahmen nach der Methode rechtwinkliger Kleinkoordinaten eine Reihe von Vorrichtungen, von den einfachsten und billigsten bis zu den vollkommensten, wie wir sie im Detailkoordinatographen und im freirollenden Koordinatographen von Coradi haben (vgl. über diese Instrumente besonders *diese Zeitschr.*, ***22.*** *S. 339, 1902,* ältere Form, und ***29.*** *S. 121, 1909*) zur Verfügung steht, hat es bisher an einem genügend leistungsfähigen, besonders ausreichend genauen Gerät für Polarkoordinaten gefehlt. Es sind zwar solche Einrichtungen schon mehrfach



versucht worden, ohne aber in der Praxis Boden gewinnen zu können, wie das Tichý-Ottsche Instrument. Der hier anzuzeigende Apparat, wie die Koordinatographen für rechtwinklige Koordinaten von G. Coradi in Zürich ausgeführt, wird dieses Schicksal nicht teilen, wenn er bis jetzt auch erst in wenigen Exemplaren gebaut worden ist. Die beistehende Abbildung erläutert dieses neue Kartierungsinstrument: der runde Unterbau *U* enthält eine verschiebbar eingerichtete Kreisteilung *K* von 30 cm Durchmesser, trägt den „Winkelmeßwagen“ *W* und dieser den „Distanzwagen“ *D*; jener (*W*) wird mit Hilfe von zwei Rollen in einer Nut von *U* geführt, die abzusetzenden Horizontalwinkel werden mit Hilfe des Winkelmeßrads *r* eingestellt. An der Hauptführungsschiene von *W* ist das Distanzlineal mit den *D*-Teilungen in 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 2500 und 1 : 5000 angebracht, an denen mit Hilfe des Distanzrädchens eingestellt wird. Am Kreis *K* ist neue Teilung angewandt; die Einteilung der Winkelrolle geht bis auf 5', die der *D*-Rolle bis auf 10 cm in 1 : 1000; man kann damit den Azimutalwinkel bis auf 50'', die Entfernung bis auf 1 cm in 1 : 1000 einstellen.

In der im Titel genannten Abhandlung findet sich eine genaue Anleitung zum Gebrauch

des Instruments und ferner eine eingehende *Genauigkeits*untersuchung; aus dieser sei nur erwähnt das dreimalige Auftragen (durch verschiedene Personen auf Aluminiumplatte) eines 700 m langen auf Null abgestimmten Polygonzugs von 10 Seiten; als mittlere Gesamtrichtungsabweichung wurden 3', als mittlerer Distanzfehler — 8 cm (1 : 1000) festgestellt. Das Instrument erscheint nach diesen Genauigkeitsproben als den Leistungen des Coradischen Detailkoordinatographen für rechtwinklige Koordinaten durchaus ebenbürtig und verdient das sehr günstige Urteil des Verfassers; der Versuch einer weiteren Genauigkeitssteigerung ist überflüssig. Der Preis ist, der Feinheit der Ausführung entsprechend, nicht gering, wird aber durch die Genauigkeit des Auftragens (oder der Ersparnis an Rechenarbeit bei Übersetzung der Polarkoordinaten in rechtwinklige) bald hereingebracht.

Hammer.

Die Zerstreuung des Lichtes in dem brechenden Medium des Auges.

Von C. V. Ramann, *Phil. Mag.* **38.** *S. 568. 1919.*

Es handelt sich um die Erscheinung, daß bei Betrachtung einer kleinen, sehr hellen Lichtquelle vor einem dunklen Hintergrund von ihr eine sehr große Anzahl leuchtender Strahlen in radialer Richtung ausgehen. Helmholtz hatte diese Erscheinung erklärt als Beugungsvorgänge an dem unregelmäßig geformten Rand der Pupille des Auges. Zweifel, die sich in dem Verf. gegen diese Meinung regten, veranlaßten ihn zu einer gründlichen Untersuchung

Er untersuchte zunächst die Erscheinung bei weißem und einfarbigem Licht. Als ersteres konzentrierte er das Licht einer elektrischen Bogenlampe auf ein feines Loch in einem undurchsichtigen Schirm, welches er aus einer Entfernung von einigen Metern beleuchtete. Er beobachtete im allgemeinen die obige Erscheinung. Die Strahlen waren zum Teil etwas gefärbt, unmittelbar um das helle Loch sah er einen dunklen Ring (Beugungserscheinung), Als einfarbige Lichtquelle benutzte er eine 3000 kerzige Quecksilber Dampflampe, oder eine Bogenlampe, deren Kohlen mit Kochsalz getränkt waren. Hier erschienen die radialen Stahlen nicht. Ein kreisförmiger Raum um das Loch herum war erfüllt von granulierten Lichtflecken, umschlossen von einem dunklen Ring, um den sich ein runder Hof legte, worauf einige schwache helle Ringe folgten.

Er findet eine große Ähnlichkeit mit der Erscheinung, wenn das Licht durch eine mit Lykopodium stark bestreute Platte tritt, wo eine Interferenz der Lichtstrahlen eintritt, die an den einzelnen unregelmäßig gestreuten Körnchen eintritt. Er schließt daraus, daß die fragliche Erscheinung hervorgerufen wird durch eine große Anzahl Teilchen von mehr oder minder gleichmäßiger Form, die in den brechenden Medien des Auges eingeschlossen sind.

Daß die Weite der Pupille nichts mit der Erscheinung zu tun hat, zeigte sich dadurch, daß die Winkelgröße der einzelnen Strahlen dieselbe blieb, ob eine einfache Kerze oder ein elektrischer Lichtbogen die Lichtquelle bildete, obgleich doch die Pupille ihren Durchmesser dabei automatisch änderte, und damit auch die Entfernungen der von Helmholtz angenommenen Unregelmäßigkeiten am Pupillenrande voneinander. Auch blieb die Erscheinung dieselbe, wenn durch einen vor das Auge gehaltenen Schirm mit einem feinen Loch der Pupillenrand ausgeschaltet wurde. Macht man dieses Loch quadratisch, so sind die dadurch hervorgerufenen Beugungserscheinungen deutlich sichtbar, daneben aber auch die hier erörterten Zerstreuungsstrahlen. Aus der Winkelgröße der verschiedenen Teile der Erscheinung schließt der Verf., daß zwei Ursachen bei der Entstehung des Vorganges mitwirkten, nämlich einmal die Struktur der Hornhaut des Auges und sodann diejenige des Glaskörpers. Der Unterzeichnete fügt hinzu, daß er diese Zerstreuungserscheinungen beim Anschauen von Straßenlaternen auf abendlichen Spaziergängen stets ohne weiteres der Struktur seiner Augenmedien zugeschrieben hat, zumal da sie durch Zutritt von Feuchtigkeit auf der Hornhaut eine Veränderung zeigen, nicht der Art, sondern der Größe nach. *H. Krüss.*

Auszugs-Berichte des Nela Research Laboratory (Cleveland, Ohio).

Von Edward P. Hyde. Januar 1917.

Im Januar 1913 erschien das erste Heft solcher abgekürzter Berichte. Das vorliegende Heft enthält Berichte über 34 verschiedene Arbeiten, die im Nela-Laboratorium ausgeführt und sämtlich bereits anderweitig ausführlich veröffentlicht worden sind.

Eine derartige Zusammenstellung, wie sie auch von der Eastman Kodak Company veranstaltet wurde[1]), ist nach zwei Seiten hin zu begrüßen. Einmal zeigt sie, was alles in dem betreffenden Laboratorium beschafft wurde und andererseits bietet sie Ersatz für die veröffentlichten Originalarbeiten, die in weiteren Kreisen unzugänglichen Zeitschriften erschienen. Solche zusammenfassenden Veröffentlichungen würden sich auch für deutsche wissenschaftliche Laboratorien empfehlen, man würde daraus ersehen, welch reiche Schätze dort gehoben worden sind. Leider verbieten die jetzigen hohen Druckkosten solches Vorgehen.

Es kann hier nur kurz über den Inhalt der wichtigsten Arbeiten berichtet werden.

Hyde und Forsythe stellten sich die Aufgabe, die Sichtbarkeitskurven im Spektrum über 0,7 μ hinaus zu erforschen. Sie benutzten einen Spektralapparat mit konstanter Ablenkung und beleuchteten den Eintrittsspalt mit einer Glühlampe, deren wirksame Strahlung durch rotierende Sektorenscheiben vermindert und so gleich gemacht werden konnte mit einer im Gesichtsfelde angebrachten kleinen Glühlampe. Die Untersuchung erstreckt sich über den Spektralbezirk von 0,620 bis 0,770 μ. Setzt man die Sichtbarkeit bei 0,660 μ gleich 100, so ergab sich als Mittelwert von 9 Beobachtern für 0,770 μ 0,014 mit einer Genauigkeit von 15 v. H.

Sehr interessant und von Wichtigkeit ist die Untersuchung, welche Hyde, Cady und Forsythe über die Durchlässigkeit der bei pyrometrischen Arbeiten verwendeten Rotfilter angestellt haben. Diese Kupferrubingläser sind nicht vollkommen monochromatisch, ihre Lichtdurchlässigkeit umfaßt Wellenlängen von 0,61 bis 0,77 μ. Die Lichtdurchlässigkeit eines solchen roten Glases ist das Integral der Durchlässigkeit für die verschiedenen Wellenlängen. Die Verf. suchten nun diejenige Wellenlänge, für welche die Durchlässigkeit gleich diesem Integral ist, und nahmen diese als die für das Glas wirksame Wellenlänge an.

Es stellte sich nun heraus, daß diese wirksame Wellenlänge für verschiedene mit dem Rotfilter beobachteten Temperaturen etwas verschieden waren, sie nahm ab bei steigender Temperatur. Die Verminderung betrug von 1300 bis 3100 Grad 0,6649 bis 0,6617. Auch eine Veränderung der Temperatur des roten Glases selbst bewirkt eine Verschiebung des durchgelassenen Spektrums, was durch Messungen bei den beiden Temperaturen 20 und 80 Grad festgestellt wurde, und zwar rückt bei höherer Temperatur das durchgelassene Spektrum in die Richtung nach Ultrarot.

Mit diesen Untersuchungen im Zusammenhang steht die Beobachtung von Worthing und Forsythe, daß bei pyrometrischen Messungen, wo eine Glühlampe gegen die glühende Fläche, deren Temperatur gemessen werden soll, gerichtet wird, die von der glühenden Fläche kommenden Strahlen an den Rändern der Glühfäden eine Beugung erfahren mit der Wirkung, daß dadurch die Helligkeit der glühenden Fläche, wie sie im Okular des Pyrometers wahrgenommen wird, verstärkt wird, so daß, wenn auch die Glühfäden und der glühende Hintergrund gleich hell erscheinen, in Wirklichkeit keine Helligkeitsgleichheit vorhanden ist.

Worthing weist darauf hin, daß das Lambertsche Kosinusgesetz für die von einem selbstleuchtenden Körper ausgesandte Lichtmenge nach seinen Versuchen unter einem Ausstrahlungswinkel von 75 Grad bei Wolframlampen eine Abweichung von 13 v. H. beträgt, die bei Erhöhung der Temperatur auf 16 v. H. steigt, während bei Kohlefadenlampen keine solche Abhängigkeit von der Temperatur nachweisbar war.

Die von Hyde und Cady beschriebene Präzisionsphotometerbank auf sehr festem eisernen Unterbau weist keine wesentlichen Unterschiede gegen die in Deutschland gebauten Photometerbänke auf. Die einzelnen Aufsätze wie Photometerkopf, Glühlampenhalter und Blenden sind auf zwei Wangen aus T-Eisen verschiebbar und festzuklemmen. Bemerkenswert ist höchstens die biegsame Welle am Motor zu der in Rotation zu setzenden Glühlampe.

Bedeutungsvoller ist die Arbeit von Luckiesch über den Vergleich von Messungen mit dem Flimmerphotometer und mit einem gewöhnlichen Photometer. Verglichen wurden zwei ziemlich helle Wolframlampen, vor deren eine ein rotes, vor deren andere ein grün-blaues Glasfilter gesetzt waren. Das Rot wurde als Einheit angenommen, dann ergab sich für das Grün

[1]) *Diese Zeitschr. 40. S. 27. 1920.*

nach der Flimmermethode 1,13, mit einem Lummer-Brodhunschen Photometer nur 0,62 und zwar sowohl mit einem Gleichheits- als mit einem Kontrastphotometer. Bei so starken Farbenunterschieden zieht der Verf. das Gleichheitsphotometer vor. Der Verf. macht in dieser Arbeit keinen Versuch, diesen großen Unterschied zwischen den Ergebnissen nach den beiden Methoden zu erklären. Wichtig wäre gewiß die Feststellung, ob der Grund dafür ein physiologischer ist, was man anzunehmen geneigt ist, oder ob er in der Konstruktion des Flimmerphotometers begründet ist.

Bemerkenswert ist dabei, daß bei der gewöhnlichen Methode das Purkinjesche Phänomen in bekannter Weise auftritt, daß also bei schwacher Beleuchtungsstärke des Photometerschirmes das Rot heller erscheint als das Blaugrün (bei 0,5 Lux wurde das Grün gegen Rot nur zu 0,4 bestimmt, während es bei normaler Beleuchtungsstärke 0,62 betrug). Bei der Flimmermethode war aber das Umgekehrte beobachtet (wie schon früher von Ives), die relative Helligkeit des Grün stieg von 1,13 auf 1,45 bei 0,5 Lux. Offenbar haben diese beiden Ergebnisse einen physiologischen Zusammenhang.

Nach Verlauf eines Jahres kam Luckiesch in einer weiteren Veröffentlichung auf diese interessanten Fragen zurück, ohne dabei eine vollkommene Lösung zu finden. Aus einer Nebenbemerkung ist zu ersehen, daß jetzt, wo ein anders konstruiertes Flimmerphotometer benutzt wurde, bei gewöhnlicher photometrischer Vergleichung derselben rot- und blaugrün gefärbten Lichtquellen die Intensität bei Gleichheitsstellung nur 0,55 derjenigen war, die sich mit dem Flimmerphotometer ergab, während sie bei dem früher benutzten Flimmerphotometer 0,62 betrug, ein Hinweis, daß die Art des Flimmerns nicht ohne Einfluß auf die Helligkeitsmessung ist.

Der Verf. führt dann als wesentlichen Unterschied zwischen der gewöhnlichen und der Flimmerphotometrie mit Recht an, daß bei letzterer die beiden Reize auf der Netzhaut wechseln und übereinander gelagert sind, während bei ersterer sie nebeneinander liegen und sich in Ruhe befinden.

Er stellt dann durch Versuche fest, daß bei Flimmern gegen einen dunklen Hintergrund die Flimmererscheinung bei rotem Licht eine größere Flimmergeschwindigkeit erforderte, um sie zum Verschwinden zu bringen als bei dem blaugrünen Licht. Ferner war eine größere Umdrehungszahl notwendig, wenn Rot vor einem grünblauen ruhenden Hintergrunde flimmerte, als bei der umgekehrten Anordnung. Wurden die beiden, nahezu komplementären Farben Rot und Grünblau miteinander zu einem annähernden Weiß gemischt und dieses gegen eine weiße Wolframlampe photometriert, so ergaben beide Methoden befriedigend übereinstimmende Ergebnisse.

Inwiefern diese Versuchsresultate den Unterschied der Messungen nach den beiden Methoden erklären, darüber ist nichts aus der Arbeit zu entnehmen.

Lediglich erwähnt sollen werden eine Reihe von Untersuchungen über die Durchlässigkeit von gläsernen Lampenschirmen, über die Farbe der Beleuchtung (künstliche Tageslichtbeleuchtung), über den Einfluß der farbigen Umgebung auf die Farbe einer beleuchteten Fläche, über den Einfluß der beleuchteten Umgebung auf die Sehschärfe (sie ist am größten, wenn die Umgebung der Sehproben — Liniengruppen — von Dunkelheit umgeben ist), über den Einfluß des Durchmessers der Pupille auf die Sehschärfe (sie wächst mit Abnahme des Pupillendurchmessers), über die Sehschärfe bei weißem Licht, über die schädliche Wirkung des ultravioletten Lichtes auf organische Gewebe und im Anschluß hieran über die Durchlässigkeit verschiedener Glasarten für ultraviolettes Licht, wozu ein Quarzspektrograph benutzt wurde. *H. Krüss.*

Konstante hochohmige Meß- und Belastungswiderstände.

Von J. E. Lilienfeld *und* W. Hofmann. *Elektrotechn. Zeitschr. 41. S. 870. 1920.*

Für Widerstände von sehr hohem Betrage hat man bisher entweder schwache Drähte, Flüssigkeiten oder nichtmetallische feste Leiter benutzt. Erstere vertragen aber wegen der Schwierigkeiten der Isolation nur geringe Belastungen, Flüssigkeits-, sowie Graphit- und Silitwiderstände sind aber inkonstant und bedürfen einer ständigen Nachprüfung. Diese Schwierigkeiten sind bei den neuen Widerständen dadurch überwunden, daß glatte oder spiralförmig aufgeschnittene Kohleschichten in das Innere zugeschmolzener Glasröhren gebracht sind. Diese haben einen Durchmesser

von 8,5 mm bei einer Wandstärke von etwa 1 mm. Die Enden der Glasröhren sind mit einem inneren Metallüberzuge versehen, welcher den Kontakt zwischen der Kohlenstoffschicht und einem eingeschmolzenen Drahte vermittelt, der außen mit einer aufgekitteten Metallkappe verbunden ist. Bei Längen von 54 und 20 cm besitzen die Röhren Widerstände von 0,1 bis 10 $M\Omega$ bzw. 20000 Ω bis 2,5 $M\Omega$. Auch geringere Werte lassen sich noch herstellen; außerdem kann man die einzelnen Röhren in Rahmen mit federnden Klemmen parallel und hintereinander schalten. Neuerdings ist es auch gelungen, Widerstände von 10^9 und mehr Ω in einem Stück zu fertigen, welche sich für elektrotechnische Messungen eignen. Wie durch eine besondere Untersuchung festgestellt wurde, ist der Widerstand der Kohleschichten für Gleich- und Wechselstrom identisch, sie sind also praktisch frei von Selbstinduktion. Die Belastbarkeit der Widerstände bis 10 $M\Omega$ beträgt, wenn man keine größere Erwärmung des äußeren Glasrohres als 230° zuläßt, bei Dauerbelastung in Luft 1 W/cm^2, bei Einbettung in Öl 3 W/cm^2, so daß ein normaler Stab mit 45 cm anger Widerstandsschicht 350 W dauernd aufzunehmen vermag. Bei stoßweiser Belastung verträgt er 1 kVA. Der Temperaturkoeffizient wurde bei zwei Widerständen von 5,27 bzw. 0,233 $M\Omega$ zwischen 19 und 104,5° zu 0,00186 bzw. 0,00173 und zwischen 19 und 167° zu 0,00162 bzw. 0,00153 ermittelt.

Da zwischen der effektiven Stromstärke und der Temperatur des Stabes (welche übrigens über die ganze Länge bis auf etwa 4° gleichmäßig ist) eine eindeutige, beliebig reproduzierbare Beziehung besteht, so kann man aus der mittels Thermoelement, Quecksilber- oder Luftthermometer ermittelten Temperatur auch die effektive Stromstärke ermitteln, bzw. ihre Skalen direkt hierin eichen. Auch die effektive Voltzahl kann man aus der Angabe des Temperaturmessers ermitteln, wenn man den Stab als Glied in dem oben erwähnten Rahmen anordnet. Ein Mangel der Methode, und zwar sowohl für Strom- wie für Spannungsmessungen, beruht darin, daß man bis zur endgültigen Temperatureinstellung mindestens 5 Min. warten muß.

Für die Benutzung als Vorschaltwiderstände oder Spannungsteiler ist namentlich bei stärkerer Belastung der große Temperaturkoeffizient störend. Es ist deshalb eine zweite Art „Multohm" Widerstände gleicher Gestalt und Abmessungen unter Benutzung eines Gemenges von Metalloxyden an Stelle von Kohle ausgebildet, bei welchen sich der Widerstand durch Erwärmung auf 100° um weniger als 2% ändert. Diese werden vorläufig bei 10 mm Durchmesser und 540 mm Länge in der Größe von 1000 Ω bis 1 $M\Omega$ hergestellt. *Berndt.*

Die Ursache der Unbeständigkeit der Nickelstähle.

Von Ch. Ed. Guillaume. *Compt. rend.* ***131.*** *S. 1039. 1920.*

Die Nickelstähle, einschließlich des Invars, weisen den Übelstand auf, daß sie ihre Länge fortgesetzt mit der Zeit ändern. Durch künstliche Alterung läßt sich dies zwar auf etwa 1 Millionstel herunterdrücken, aber nicht vollständig beseitigen. Die Ursache dafür ist jetzt in der Gegenwart des Kohlenstoffs gefunden, welcher sich bei der technischen Herstellung niemals ganz vermeiden läßt. Er bildet mit dem Eisen ein Karbid, den sogenannten Zementit, welcher sich langsam umwandelt. Seine Entstehung kann man vermeiden, wenn man dem Nickelstahl Elemente zufügt, wie Chrom, Wolfram, Vanadium, welche zum Kohlenstoff eine größere Affinität als das Eisen besitzen. Bei praktischen Versuchen ließ sich mit Chrom die Unbeständigkeit bis auf etwa $^1/_{10}$ verringern. Will man sie noch weiter herunterdrücken, so muß man den Betrag des Chroms über die Menge erhöhen, welche rechnerisch zur Bindung des Kohlenstoff notwendig ist, da sich andernfalls nach dem Massenwirkungsgesetz doch noch ein gewisser Teil mit dem Eisen verbindet. Durch den Chromzusatz wird zwar die Ausdehnung etwas vergrößert; diese Wirkung wird aber nahezu durch den geringeren Einfluß des Kohlenstoffs auf die Längenänderung kompensiert, so daß auch der Ausdehnungskoeffizient dieser stabilen Nickelstähle noch gering ist. Bei den völlig beständigen würde allerdings sein Wert auf etwa $2 \cdot 10^{-6}$ steigen; es besteht aber die Hoffnung daß man ihn durch entsprechende thermische und mechanische Behandlung noch etwas herabsetzen kann, da diese auf die stabilen Nickelstähle voraussichtlich ebenso einwirken wird wie auf die früheren unbeständigen. Über den Einfluß des Chromzusatzes auf die thermische Nachwirkung (die sogenannte thermische Hysteresis) sind keine Angaben gemacht. *Berndt.*

Bücherbesprechungen.

G. Berndt, Physikalisches Wörterbuch. Kl.-8°. IV, 200 S. mit 81 Textfig. Leipzig und Berlin. B. G. Teubner, 1920.

Der Herr Verfasser hat die Aufgabe, ein kompendiöses Fachwörterbuch der Physik zu schaffen, mit großem Geschick gelöst. Vor allem denen, die Physik a's unentbehrliche Hilfsdisziplin brauchen, wird das Buch wertvolle Dienste leisten. Es bietet zudem nicht nur rein fachliche Stichworte, sondern auch die wichtigsten biographischen und literarischen Notizen. Die zahlreichen Fremdwörter sind außerdem etymologisch erklärt und mit Betonungszeichen versehen. Auch die am Schluß gegebene Literaturübersicht wird allen denen willkommen sein, die ihr physikalisches Wissen erweitern wollen. Dem Buche ist weiteste Verbreitung zu wünschen. *G.*

G. v. Hanffstengel, Technisches Denken und Schaffen. Eine gemeinverständliche Einführung in die Technik. 1. u. 2. Aufl. 8°. VIII, 212 S. mit 153 Textabb. Berlin, Julius Springer. 1920.

Das schöne, unserem Leserkreis wärmstens empfohlene Buch wendet sich nicht nur an den Neuling in der Technik, sondern an alle, die in irgendeiner Weise mit der Technik in Beziehung stehen. Auch der Ingenieur wird sich gern der meisterlichen Führung des Verfassers überlassen und ihm dankbar sein, daß seine Darlegungen vorzüglich geeignet sind, die Gleichwertigkeit technischen Denkens und Arbeitens mit den älteren „Geisteswissenschaften" erneut festzustellen. *G.*

Dr. M. Zeller, Ein neuer Distanzmesser für topographische Aufnahmen. 8°, 79 S. mit 34 Abb. Bern, A. Schmid & Co., 1920. 3 Frs.

Die Arbeit ist die Dr.-Dissertation (Zürich) des Verf. (Dipl.-Ing. der Schweiz. Landestopographie). Ihr Gegenstand ist die Frage, ob es für manche topographische Zwecke, bei Meßtischaufnahmen in kleineren Maßstäben (1 : 10 000 bis 1 : 50 000) nicht vielfach vorteilhaft wäre, statt des Fadendistanzmessers nach wesentlich Reichenbachscher Einrichtung an der Meßtisch-Kippregel oder dem Tachymetertheodolit mit seiner engbegrenzten Tragweite einen Entfernungsmesser zu verwenden, der die Basis der Entfernungsmessung am Standpunkt, im Instrument, nicht als Lattenabschnitt im Endpunkt der Strecke anordnet, d. h. ohne Latte zu arbeiten gestattet und bis zu einigen Kilometern Entfernung genügende Ergebnisse liefert.

Auch die Stereophotogrammetrie von der Erde aus wird nämlich (von geschlossenen Waldstücken, auf denen sie unwirksam wird, ganz abgesehen), die „alte" topographische Einzelpunktmessung nicht überflüssig machen, indem jene den Einblick in zahlreiche kleine Geländefalten gar nicht gewähren kann; der Verf. schätzt die so gewöhnlich einzuschaltenden Flächenstücke auf $^1/_6$ der ganzen Fläche, wobei diese Zahl natürlich von der Beschaffenheit des Geländes abhängt; und auch die künftige Phototopographie vom Flugzeug aus wird der ergänzenden Aufnahme alter Art nicht entraten können.

Dieselbe Frage des Ersatzes des sogen. Reichenbachschen entfernungsmessenden Fernrohrs für jene Zwecke durch ein Telemeter ist bekanntlich auch schon von anderer Seite mehrfach erörtert worden; ich verweise u. a. auf mein Referat über die Arbeit von H. Böhler über die Verwendung von Koinzidenz-Entfernungsmessern in der Kolonialvermessung, in *dieser Zeitschr. 37. S. 157, 1917.* An Stelle des dort besprochenen Görzschen Koinzidenz-Entfernungsmessers mit konstanter Basislänge (die drei von Böhler versuchten K.E.M. hatten 0,7 m, 1,0 m und 1,5 m Basislänge) und demnach mit der Entfernung verschiedenem Mikrometerwinkel — dieses Prinzip ist auch bei den sonstigen Versuchen dieser Art gebraucht worden — hat jedoch der Verf. für sein Instrument konstanten Mikrometerwinkel und demnach mit der Entfernung veränderliche Basisstrecke am Instrumente gewählt. Es ist ein Invert-Telemeter mit bis zu 0,7 m nutzbarer Basisstrecke, mit zwei Objektiven und einem Okular, von der *Société genevoise* nach Angaben des Verf. gebaut (auch in Deutschland zum Pat. angem.) und noch weiterer Vervollkommnung fähig.

Der Hauptinhalt der Schrift ist eine eingehende Untersuchung der Instrumentenfehler, ihrer Wirkungen und soweit möglich ihrer Unschädlichmachung. Die Abschnitte „Zielfehlerberechnung"

(vom Verf. z. T. im Anschluß an die Arbeiten seiner Landsleute Nötzli und Engi angestellt) und „Theoretische Erwägungen", der besonders auch die Temperatureinflüsse untersucht, „Vorschläge zur Neukonstruktion" usf. werden großes Interesse finden; ich kann jedoch mit Rücksicht auf den Raum hier nicht auf sie eingehen, vielmehr nur aus dem letzten Abschnitt „Praktische Ergebnisse" noch anführen, daß bei der gemachten Annahme der Distanzmesserkonstanten zu 2000 als mittlerer Fehler dieser Zahl mit Rücksicht auf die verschiedenen noch vorhandenen Mängel der Konstruktion $\pm$ 6,5 anzusetzen war und demnach die Tragweite des Instruments bei Zulassung des mittleren Fehlers von $\pm$ 0,3 mm in der Lage eines Punktes auf dem Plan (Maßstab der Aufnahme 1:10 000), auf etwa 1000 m beschränkt blieb, während an sich 1400 m erreichbar hätten sein sollen. Das Instrument hat aber bei Veruchssmessungen 1 : 10 000 im Sommer 1919 an den Saashörnern und an den steilen Hängen der Riesflühe bei Göschenen recht befriedigend gewirkt. Jedenfalls ist der Versuch des Verf. bemerkenswert und man darf den Leistungen eines neuen Instruments mit denselben Konstruktionsgrundlagen, aber mit leichtern Basisprismen und mit nutzbarer Basislänge bis 120 cm mit Interesse entgegensehen. *Hammer.*

M. von Rohr, *Geometrical Investigation of the Formation of Images in Optical Instruments. Embodying the results of scientific researches conducted in German Optical Workshops. Translated by R. Kanthack. London, His Majesty's Stationary Office.* 8°. XXIII, 612 S. mit 133 Abb. 1920. Geb. £ 2 5 s Net.

Nachdem im Jahre 1918 die beiden deutschen Bücher von A. Steinheil und E. Voit „Handbuch der angewandten Optik, I. Bd." (aus dem Jahre 1891) und von A. Gleichen „Die Theorie der modernen optischen Instrumente" (aus dem Jahre 1911) in englischer Übersetzung erschienen waren, wurde R. Kanthack, der durch die deutsche 1894 erschienene Übersetzung des englischen Lehrbuchs der geometrischen Optik von R. S. Heath bekannt ist, mit der Übersetzung des von M. von Rohr 1904 herausgegebenen Buches „Die Theorie der optischen Instrumente, I. Band" (siehe die Besprechung in dieser Zeitschrift **24.** S. 158—159. 1904) betraut. Auch diese Übertragung eines deutschen Buches in die englische Sprache zeigt, wie hoch im englisch sprechenden Ausland die deutsche angewandte Wissenschaft eingeschätzt wird; denn sonst hätte man sich nicht noch während des Weltkrieges an diese mühevolle Arbeit gewagt. Etwas merkwürdig muß es allerdings erscheinen, daß diese Übersetzung ohne Mitwirkung des deutschen Herausgebers und ohne Mitwirkung des Verlags J. Springer vorgenommen wurde, obwohl doch von Ende 1918 an bis zum Erscheinungsjahr 1920 eine Verbindung zwischen dem englischen Herausgeber und Verlag und dem deutschen Herausgeber und Verlag möglich gewesen wäre. Die vorliegende englische Übersetzung braucht in einer deutschen Zeitschrift nicht ausführlich besprochen zu werden, da sie wirklich nur eine Übersetzung ist. Auch im Quellenverzeichnis sind, entgegen der Behauptung Kanthacks, nur wenige der seit 1904 neu erschienenen Bücher und Arbeiten berücksichtigt worden; es sind im wesentlichen nur die 1902 erschienene englische Übersetzung von Drudes Lehrbuch der Optik, die englischen Übersetzungen von Ferraris-Lippich (1879, 1919), von Huygens (1690, 1912), von A. Steinheil und E. Voit (1891, 1918) und die 3. Aufl. der Physiologischen Optik von Helmholtz, die zweite, 1913 erschienene Auflage des Buches von J. P. C. Southall (die erste Auflage ist in dieser Zeitschrift **31.** S. 168—170. 1911 besprochen worden) und das Buch von H. D. Taylor, *A system of applied Optics* (1906) genannt worden. Es wäre sicher für den englischen Leser vorteilhaft und bequem gewesen, beispielsweise die Liste der seit 1903 erschienenen Arbeiten von A. Kerber, von M. von Rohr und andern deutschen Gelehrten vollständig zu haben. Der Anschluß der Übersetzung an das 1904 erschienene deutsche Buch geht sogar so weit, daß auch die meisten der übrigens nicht sehr zahlreichen und wohl in keinem größeren Buch vermiedenen Druckfehler übernommen worden sind. Die Abbildungen sind nach Ansicht des Berichterstatters im allgemeinen in der englischen Ausgabe nicht besser geworden als in der deutschen Ausgabe. So sind beispielsweise in der Abb. 9 S. 35 und auch in anderen Abbildungen der Kanthackschen Übersetzung die Strecken an beiden Enden mit Pfeilen versehen. Dies kann immerhin zu Mißverständnissen führen; eine wirkliche Verbesserung hätte sich wohl ergeben, wenn der Pfeil nur am einen Ende der Strecke angebracht worden wäre. *Dr. H. Erfle.*

Rudolf Krause, Messungen an elektrischen Maschinen. Apparate, Instrumente, Methoden, Schaltungen. 4. gänzlich umgearbeitete Auflage von Georg Jahn, Ingenieur. 8°. 296 S. m. 256 Textfiguren u. einer Tafel. Berlin, Julius Springer, 1920. Geb. 28 M.

Die vorliegende 4. Auflage der „Messungen an elektrischen Maschinen" hat eine gänzliche Umarbeitung und eine wesentliche Erweiterung erfahren. Trotzdem ist der Grundsatz der früheren Auflagen, Studierenden und Ingenieuren ein Hilfsbuch für die Schaltungen und Messungen im Prüffeld und bei Abnahmeversuchen zu geben, erhalten geblieben. Im ersten Abschnitt findet sich eine ausführliche Darstellung der Wirkungsweise, Bauart und Verwendung der elektrischen Meßinstrumente. Diese Darstellung geht über die Bedürfnisse für das Prüffeld weit hinaus und hätte zugunsten der fehlenden Kapitel über Transformatoren und Wechselstromkommutatormotoren gekürzt werden können. Besondere Abschnitte behandeln Messung der elektrischen Leistung, Widerstandsbestimmung, Magnetische Messungen, Belastungsarten und Parallelschalten, Aufnahme charakteristischer Kurven, Bestimmung des Wirkungsgrades nach der direkten und indirekten Methode und Temperaturmessungen. Bei der Besprechung der Bremsmethoden fehlen die Pendeldynamo und die Torsionsdynamometer. Neu hinzugekommen sind die Abschnitte über Einankerumformer und Kommutierung von Gleichstrommaschinen. Man vermißt bei den einzelnen Kapiteln die entsprechenden Hinweise auf die Maschinennormalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

Der sehr umfangreiche Stoff ist übersichtlich eingeteilt und die grundlegenden Verfahren sind klar dargestellt. Das Werk ist mit zahlreichen übersichtlichen Abbildungen versehen. Die Ausstattung des Buches ist sehr gut. Leider fehlt ein alphabetisches Inhaltsverzeichnis, das die Handhabung des Buches sehr erleichtern würde. *Vg.*

W. Skirl, Meßgeräte und Schaltungen für Wechselstrom-Leistungsmessungen. 8°. 278 S. m. 215 Abb. Berlin, Julius Springer, 1920. Geb. 26 M.

Das Buch zerfällt in drei Hauptteile. Im 1. Teil werden die Meßgeräte behandelt und zwar die tragbaren Laboratoriums-, Prüffeld- und Betriebsinstrumente und die Präzisions-Meßwandler. Es werden nur Erzeugnisse der Firma Siemens & Halske beschrieben, der Stoff ist aber so behandelt, daß er, abgesehen von konstruktiven Besonderheiten, allgemeine Gültigkeit besitzt. Da das Buch für den ausführenden Ingenieur geschrieben ist, so sind nur die für die sachgemäße Benutzung der Meßinstrumente erforderlichen Formeln, Vorschriften und Beispiele angegeben. Im 2. Teil werden die Meßschaltungen für Leistungsmessungen bei Ein- und Mehrphasenwechselstrom und Drehstrom angegeben. Den Meßschaltungen für Hochspannung mit Strom- und Spannungswandlern und den Messungen bei Niederspannung, bei denen die Stromwandler nur Meßbereichwähler dienen, wird wegen ihrer Wichtigkeit ein besonders breiter Raum gewährt. Den gebräuchlichsten Meßanordnungen sind übersichtliche Schaltungsskizzen mit den zugehörigen Formeln und Beispielen beigefügt. Den 3. Teil des Buches bildet ein Anhang über Präzisionsinstrumente für Gleichstrom, soweit sie bei Wechselstrommessungen und beim Eichen der Wechselstrominstrumente Verwendung finden. Die Darstellungsweise ist klar und übersichtlich und die Ausstattung des Buches sehr gut,

Für den Prüffeldingenieur ist das Buch ein wertvolles Nachschlagewerk. Es wird aber auch dem Studierenden zur Einführung in die Meßkunde gute Dienste leisten. *Vg.*

Bekanntmachung.

Vom 1. Oktober 1921 ab wird der Teuerungszuschlag auf die Prüfungsgebühren der Abteilung III (für Wärme und Druck) mit Ausnahme der Fieberthermometer auf 300% erhöht.

Charlottenburg, den 12. September 1921.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
E. Warburg.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

DEC 22 1921

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
R. Straubel in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

10. Heft: Oktober.

Inhalt:

Dr. H. Fuß, Bambergscher Registrier-Theodolit S. 281. — Dr. Arthur Kerbert, Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel S. 289. — Hans Boas, Untersuchung über die Feinbewegung an einigen Mikroskopen S. 299.

Referate: Beiträge zur Erfindungsgeschichte meteorologischer Instrumente S. 304. — Der „Einheitskompaß" von Breithaupt S. 304. — Raumwinkel und Lichtstromkugel nach Teichmüller und neuere Ausführungsformen S. 305. — Eine neue Art von Widerständen hoher Ohmzahl S. 308. — Ein absolutes Voltmeter für 250 000 Volt Effektivspannung S. 309. — Über eine graphische Tafel der Luftdichten S. 311.

Bücherbesprechungen: Astronomie, Bd. 3 der Kultur der Gegenwart S. 311. — A. Marcuse, Astronomie und ihre Bedeutung für das praktische Leben S. 312. — J. Möller, Nautik S. 312. — R. Börnstein, Sichtbare und unsichtbare Strahlen S. 312. — L. Grebe, Spektroskopie S. 312.

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für alle übrigen Zahlungen Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,

RATHENOW a. H.

Herr **A. E. Scharnbeck,**

Fabrikant opt. Artikel u. Instrumente,

bisher in

RATHENOW

wohnhaft,

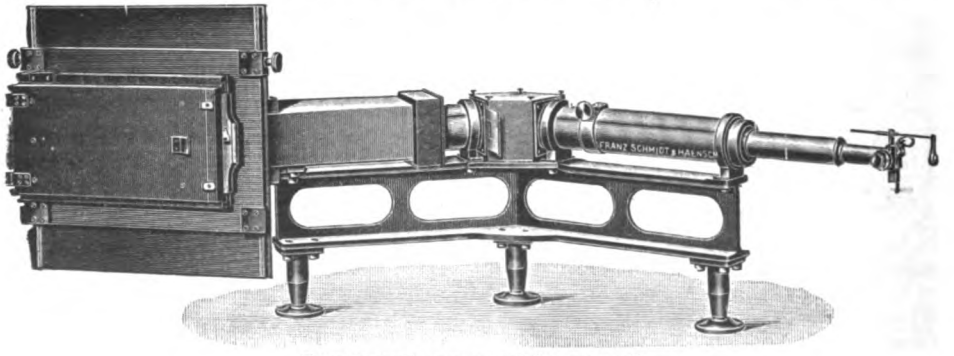
wird um Angabe seiner jetzigen Adresse gebeten

an die

Geschäftsstelle der „Zeitschrift für Instrumentenkunde", Berlin W 9.

Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 BERLIN S 42 Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **Oktober 1921.** Zehntes Heft.

Bambergscher Registrier-Theodolit.

Von

Dr. **H. Fuß** in Neubabelsberg.

Im Laufe des Jahres 1918 ist auf meine Anregung von der Firma Carl Bamberg, Berlin-Friedenau, nach meinen Plänen unter dem Namen „Theodolit mit photographischer Kreisablesung" ein Instrument gebaut worden, welches zunächst zur Untersuchung von Flugeigenschaften von Flugzeugen bestimmt gewesen ist. Da das Instrument sich in jeder Beziehung vorzüglich bewährt und offenbar eine sehr vielseitige Anwendung gestattet, vor allem aber bei allen solchen Fragen, bei denen es sich um genaue Ermittlung von Bahnen bewegter Gegenstände im Raum handelt, eine tatsächlich empfindliche Lücke ausfüllt, glaube ich, an dieser Stelle auf das Instrument aufmerksam machen zu sollen.

Die direkte Aufgabe, die das Instrument lösen soll, besteht darin, die Visierlinie nach einem schnell bewegten Ziel durch Azimut- und Höhenwinkel sowie die Beobachtungszeit in rascher Zeitfolge festzulegen.

Solange man sich mit geringer Genauigkeit, etwa bis $0{,}1^0$ begnügen kann, und die Zwischenzeit zwischen den einzelnen Beobachtungen nicht zu klein zu sein braucht (nicht unter etwa 15^s), reichen die gewöhnlichen Pilotballontheodoliten, wie sie bisher im Gebrauch waren, zur Not aus. Ist man aber auf eine größere Genauigkeit und schnellere Zeitfolge der Beobachtungen angewiesen, so versagen alle bisher üblichen Hilfsmittel; es stellt sich die Notwendigkeit ein, die Kreisablesungen registrieren zu können.

Man hat daher schon mehrfach versucht, Theodolite mit Registriervorrichtungen zu bauen, ohne indessen zu brauchbaren Resultaten zu gelangen. Die älteren Versuche bewegten sich hauptsächlich in der Richtung, daß man auf ein Blatt Papier Punkte markieren ließ, aus deren Lage man die Richtung der augenblicklichen Visierlinie entnehmen kann, ein Verfahren, das letzten Endes darauf hinauskommt, die Winkelmessung durch eine Längenmessung zu ersetzen (Messung der trigonometrischen Funktionen der Winkel). Es ist klar, daß solche Instrumente entweder keine große Genauigkeit zulassen, oder aber sehr große, unbequeme Dimensionen annehmen, wie z. B. einerseits ein Instrument, das sich auf dem Lindenberger Observatorium befindet, oder anderseits ein Anfang 1915 von Zeiss, Jena, unter dem Namen „Fahrtzeichner" herausgebrachtes Instrument. Ein anderer Versuch, die Kreise des Theodoliten statt mit den gewöhnlichen, für visuelle Ablesungen üblichen Teilungen, mit Kreisen mit erhabenen Teilstrichen und erhabener Bezifferung auszurüsten, wobei dann die Kreisablesungen auf einem Papierstreifen mittelst Farbband abgedruckt werden,

konnte nicht zu dem gewünschten Ziele führen, da auch bei diesem Verfahren keine größere Genauigkeit als höchstens $0{,}1^0$ zu erzielen war, wenn man dem Instrument nicht ganz abenteuerliche Dimensionen geben will.

Alle diese Instrumente haben sich daher in der Praxis auch nicht bewährt und sind kaum zu größeren Arbeiten verwendet worden.

Ein wirklich neuer Gedanke dagegen liegt dem „Theodoliten mit photographischer Registrierung“ zugrunde. (Fig. 1 u. 2.)

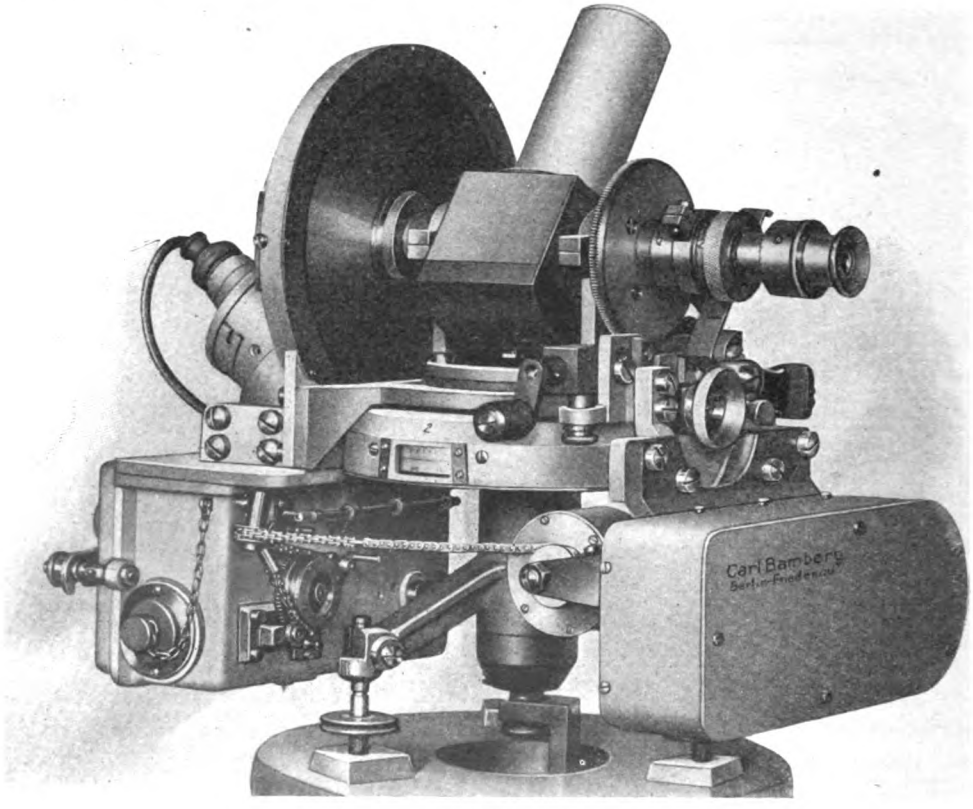


Fig. 1.

Das Instrument ist wie ein Vermessungs-Theodolit mit den gewöhnlichen, feingeteilten Silberkreisen versehen, die durch Nonien abgelesen werden. Nur werden die Ablesungen nicht visuell gemacht, sondern es werden die Nonien mit dem gerade in Betracht kommenden Stück der Kreisteilung mittels einer kleinen, am Instrument (in Fig. 1 u. 2 links) angebauten photographischen Kamera auf ein Filmband photographiert.

Durch dieses neuartige Prinzip der photographischen Registrierung wird vor allem erreicht, daß durch die Registrierung gegenüber der direkten visuellen Ablesung kaum etwas an Genauigkeit verloren geht. Denn da ja die Nonien mitphotographiert werden, ist ein Fehler, der durch geringe Bildverzeichnung des Kameraobjektives oder durch Verzerrung der Schicht oder des ganzen Filmbandes beim Entwickeln und beim Trocknen entstehen könnte, nicht zu befürchten. Denn bei der Nonienablesung kommt es ja lediglich auf die Beurteilung der Koinzidenz der betreffenden Teilstriche an. Striche aber der Kreisteilung und des zugehörenden Nonius, die im

Augenblick der Aufnahme koindizieren, müssen natürlich auch auf dem entwickelten Bilde koindizieren, mag nun das Bild auf dem Film durch das photographische Verfahren (s. S. 284) etwas verzerrt sein oder nicht.

Die bereits ausgeführten und von mir sehr viel benutzten Instrumente sind, wie man es bei Bamberg gewöhnt ist, außerordentlich präzise und sauber gearbeitet. Die Konstruktion ist als im wesentlichen durchaus glücklich zu bezeichnen.

Das Instrument ist mit gebrochenem Fernrohr versehen mit Einblick durch die Horizontalachse. Die Vergrößerung war 19fach mit $2^1/_2{}^0$ Gesichtsfeld. Zur Bewe-

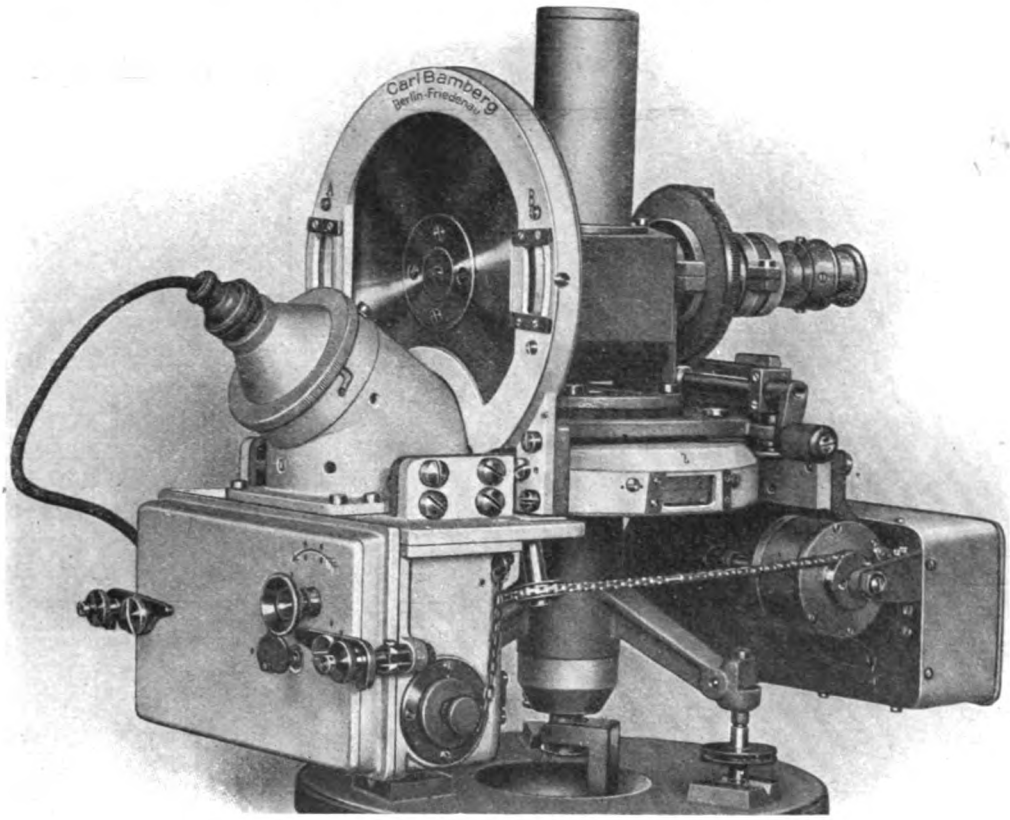


Fig. 9.

gung des Fernrohrs in der Horizontal- und Vertikachse dienen Schraubenspindeln mit Schneckenrad, wobei eine Umdrehung der Spindel eine Drehung des Fernrohrs um 2^0 bewirkt. Durch einen einzigen, einfachen Handgriff — Drehen eines Knopfes — können beide Spindeln gleichzeitig ein- und ausgeklinkt werden. Nach Ausklinken der Spindeln kann das Fernrohr für sich mit der Hand gedreht werden, was für schnelles Aufsuchen des Zieles von Wichtigkeit ist. Dazu ist ein einfaches Hilfsvisier mit Kimme und Korn vorgesehen.

Sehr geschickt ist ganz besonders die Anordnung der Kreise zueinander. Es hat nämlich der Azimutalkreis Stirnteilung, der Höhenkreis Flächenteilung erhalten, so daß durch Wahl geeigneter Dimensionen der Kreise erreicht ist, daß die für die augenblickliche Ablesung gerade in Frage kommenden Stücke der beiden Kreise mit den zugehörigen Nonien nahezu in einer Ebene liegen. Dadurch werden die Ablesungen beider Kreise zu einem Bilde vereinigt, wobei das Bild des Azimutalkreises

unterhalb dem des Höhenkreises zu liegen kommt. Zur Erläuterung dient die Wiedergabe eines entwickelten Filmbandes in Fig. 3.

Geteilt sind die Kreise in $^1/_2$ Grade, und die Nonien geben direkt $0{,}02^0$ an, wobei aber $0{,}01^0$ noch sehr bequem geschätzt werden können. Außer dem für die

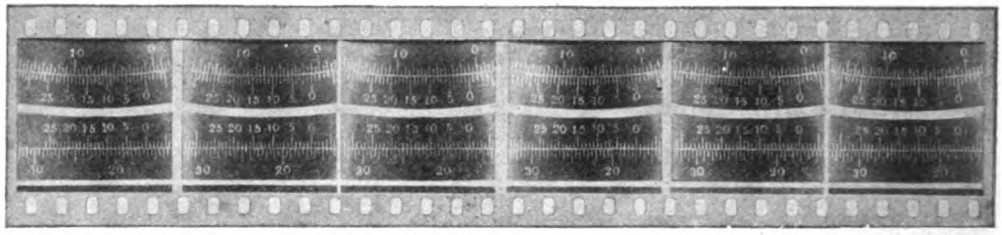


Fig. 3.

Registrierung erforderlichen Nonius tragen die Kreise je zwei um 180^0 versetzte Nonien für visuelle Ablesung.

Für die photographische Registrierung ist nun an dem Instrument eine kleine Filmkamera angebaut, welche die gerade in Betracht kommenden Stücke der Kreise mit den zugehörigen Nonien photographiert und das notwendige Licht durch eine 8-Volt-Glühlampe erhält. Der Kamera gegenüber ist ein kleiner von einem Gehäuse verdekter Elektromotor angebracht, der den Filmtransport automatisch nach jeder Aufnahme regelt. Eine eingehende Beschreibung der Kamera und der Filmtransportvorrichtung würde zu weit führen. Daher sei nur kurz das wesentliche Spiel des Registrierapparates erläutert, dessen Schaltschema in Fig. 4 dargestellt ist.

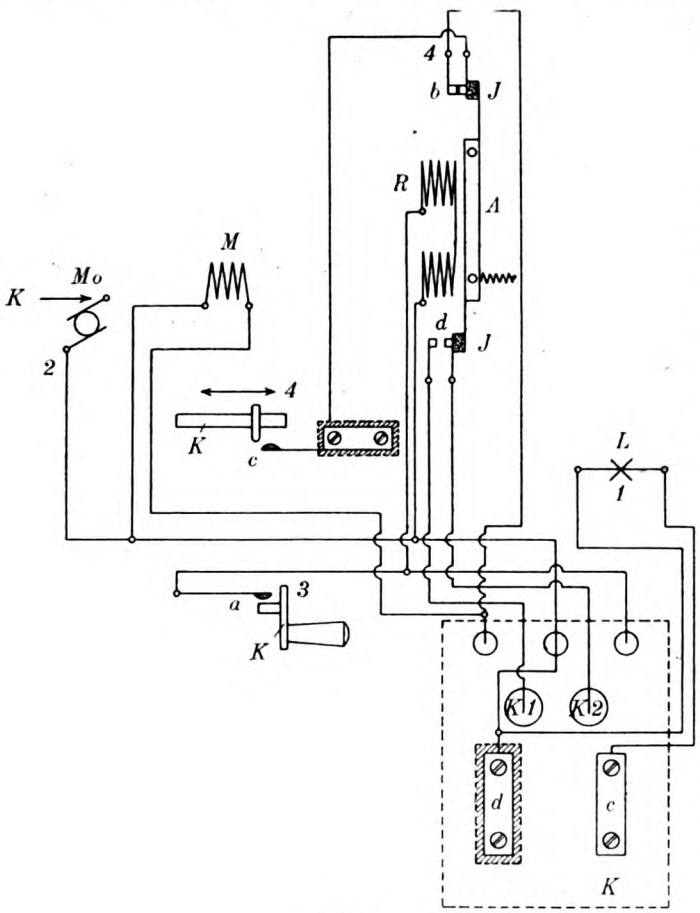


Fig. 4.

Von einer 8-Volt-Batterie werden vier Stromzweige abgezweigt. Der 1. und 2. Zweig, die die Lampe L bzw. den Motor Mo speisen, sind während der Benutzung dauernd geschlossen.

Der 3. Zweig besitzt eine Unterbrechungsstelle a, die gewöhnlich offen ist, der 4. Zweig zwei Unterbrechungsstellen b und c, von denen in Ruhestellung b ge-

schlossen, c offen ist; und zwar führt Zweig 3 über einen festen Elektromagneten, dessen Anker A in Ruhestellung erstens den gesamten Verschluß zurückhält und zweitens Kontakt b schließt. Zweig 4 führt über einen Glockenmagneten M, der auf der Achse des Motors sitzt und mit diesem vor seinem in Ruhe bleibenden Anker B rotiert. (Fig. 5.)

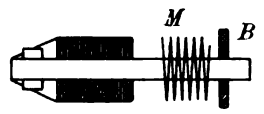


Fig. 5.

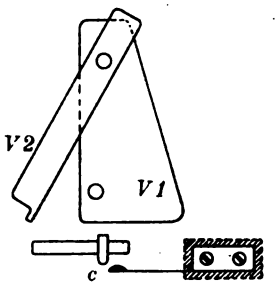


Fig. 6.

Wird nun Kontakt a geschlossen, so wird der Anker A angezogen. Die Verschlußklappe V_1 (Fig. 6), welche eine der Größe des Kameraobjektives entsprechende, kreisrunde Durchbohrung besitzt, fällt an dem Objektiv vorbei, wobei der Film belichtet wird, und öffnet den Kontakt b. Hat die Klappe V_1 ihre Bewegung beendet, so läßt sie V_2 fallen, welche sich über die Belichtungsöffnung von V_1 legt und gleichzeitig den Kontakt c schließt (Dauer ca. $^1/_{80}$—$^1/_{100}$ Sek.). Wird nun Kontakt a gelöst, so geht der Anker A in Ruhestellung zurück und Kontakt b wird geschlossen. Da jetzt b und c geschlossen sind, erhält der Glockenmagnet Strom, zwingt infolgedessen seinen Anker B, die Rotation mitzumachen. Mittels Kettenübertragung wird hierdurch der Film weiterbewegt und die Verschlußklappen V_1 und V_2 in ihre Ruhelagen zurückgeführt, wobei keine neue Belichtung des Films erfolgen kann, da jetzt V_2 das Loch in V_1 zudeckt. V_1 und V_2 trennen hierbei den Kontakt c selbsttätig sobald sie in die Anfangsstellung zurückgeführt sind, wodurch der Glockenmagnet stromlos wird, seinen Anker losläßt, der mittels einer Feder in seine Ruhelage zurückgezogen wird, während der Magnet weiter rotiert. Hierauf ist die Kamera wieder aufnahmebereit, und das Spiel kann von neuem beginnen. Gleichzeitig wird ein einfaches Zählwerk mitgetrieben, welches die Anzahl der jeweils gemachten Registrierungen abzulesen gestattet. Die ganze Dauer des zuletzt beschriebenen Prozesses beträgt knapp $^1/_5$ Sek., so daß sehr bequem mindestens alle $^1/_2$ Sek. Beobachtungen gemacht werden können.

Der ganze Mechanismus arbeitet fast absolut zuverlässig. Während der sehr zahlreichen Flugzeuggeschwindigkeitsmessungen, die unter meiner Leitung in Rechlin gemacht worden sind, sind bei den Theodoliten Versager nur äußerst selten vorgekommen, und es hat sich dabei immer herausgestellt, daß ein solches Versagen nur durch gröbere Nachlässigkeit eines der Beobachter verursacht wurde.

Zur Verwendung kommt gewöhnlicher Kinofilm, welcher auf Messingrollen aufgespult wird. Das Herausnehmen eines vollbelichteten und Neueinsetzen eines freien Films ist durch ganz einfache Handgriffe möglich und kann bei Tageslicht geschehen. In Rechlin ließen wir das Filmauswechseln, wenn es nötig war, durch eine Hilfskraft vornehmen, während der Beobachter am Instrument blieb und sein Flugzeug ruhig weiterverfolgte.

Da der Motor einmal sehr sorgfältig gebaut ist und außerdem durch Korkscheiben vom Instrument isoliert ist, so arbeitet der Mechanismus völlig erschütterungsfrei, so daß auch von dieser Seite keinerlei Fehler zu befürchten sind.

Damit auch die Beobachtungszeit gleichzeitig registriert werden kann, sind an dem Instrument noch zwei Klemmen K_1 und K_2 vorgesehen, an die eine Chronographenleitung angeschlossen werden kann. Von K_1 und K_2 geht eine Leitung zu dem Kontakt d, welcher in Ruhestellung offen ist, durch die oben beschriebene Anziehung des Ankers A aber geschlossen wird. Infolgedessen werden durch Schließen

des Kontaktes *a* sowohl die Kreisablesungen auf dem Filmband, als auch die Beobachtungszeit auf dem Chronographen registriert.

Um nun die zur genauen Festlegung der Bahn eines bewegten Zieles notwendigen, gleichzeitigen Beobachtungen von wenigstens zwei Standpunkten aus zu erhalten, bieten sich zwei Wege dar.

Entweder kann jeder Beobachter auf jedem Standpunkt unabhängig beobachten, indem er in dem zu behandelnden Problem angepaßten Zeitabständen das Ziel in sein Fadenkreuz bringt und in dem betreffenden Augenblick durch Schließen des Kontaktes *a*, der zu diesem Zweck sehr bequem an der Azimutalkurbel angebracht ist, die Registrierung der Kreisablesungen auf seinem Filmband und der Beobachtungszeiten auf dem gemeinsamen Chronographen bewirkt. Oder man verbindet die Kontakte *a* aller Instrumente durch eine gemeinsame Hauptleitung, in die eine Uhr eingeschaltet wird, welche dann die Registrierung der jeweiligen Azimut- und Höhenwinkel in passend gewählten Zeitabständen auf allen Standpunkten streng gleichzeitig bewirkt.

Bei dem ersten Verfahren, bei dem die Beobachtungen auf den einzelnen Stationen im allgemeinen nicht gleichzeitig erhalten werden, hat man dann noch, am einfachsten durch graphische Interpolation, die auf den einzelnen Stationen erhaltenen Beobachtungen auf gleiche Zeit zu reduzieren; man hat aber den Vorteil, daß die Registrierung von dem Beobachter selbst ausgeführt wird und infolgedessen nur dann vorgenommen zu werden braucht, wenn das Ziel wirklich genau im Fadenkreuz ist.

Bei dem zweiten Verfahren dagegen muß sich der Beobachter bemühen, das Ziel dauernd möglichst genau im Fadenkreuz zu halten, und es kann vorkommen, daß eine Registrierung gemacht wird in einem Augenblick, in dem das Ziel dem Beobachter etwas aus dem Kreuz herausgekommen ist. Wie zahlreiche von mir angestellte Versuche ergeben haben, wird sich diesem Übelstand leicht dadurch begegnen lassen, daß man an Stelle des Fadenkreuzes in das Okular eine Strichplatte mit rechtwinkligem Koordinatensystem einführt, dessen x-Achse nach dem Azimut orientiert ist. (Fig. 7.)

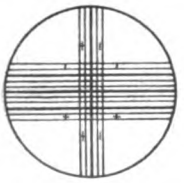


Fig. 7

Da jedesmal, wenn die Registrierung erfolgt, sich ein sehr deutlich wahrnehmbarer kurzer Knack hören läßt, so kann der Beobachter leicht mit durchaus hinreichender Genauigkeit die Abweichung des Zieles vom Fadenkreuz einschätzen und einem Hilfsarbeiter diktieren. Es ist dann selbstverständlich eine sehr kleine Mühe, die erforderlichen Korrektionen an die registrierten Koordinaten anzubringen.

Ich selbst habe nach diesem zweiten Verfahren keine exakten Messungen mehr vornehmen können.

Um einen Überblick über die mit den Instrumenten erreichbare Genauigkeit zu geben, führe ich hier als Beispiel eine kurze in Rechlin erhaltene Beobachtungsreihe an. Bei der dortigen Arbeit handelte es sich darum, die Geschwindigkeit eines Flugzeuges in verschiedenen Höhen zu messen. Zu dem Zwecke mußte das Flugzeug vier gerade Strecken von ca. $1^1/_2$—2 Minuten Fluglänge in vier verschiedenen Richtungen in den verschiedenen Höhen durchfliegen. Es mußten dann die Relativgeschwindigkeiten zum Erdboden in den vier Richtungen ermittelt werden, aus denen dann eine einfache Ausgleichungsrechnung die absolute Geschwindigkeit des Flugzeuges und auch die Windgeschwindigkeit ergab.

Es wurden daher in den Endpunkten einer 5621 m langen Basis je ein Registriertheodolit aufgestellt, von beiden Standpunkten aus — jeder für sich, nach dem ersten Verfahren — in Abständen von ca. 2—3 Sekunden Azimut-, Höhenwinkel und Beobachtungszeit, letztere auf gemeinsamen Chronographen registriert und durch graphische Interpolation die erhaltenen Beobachtungsdaten auf gleiche Zeiten, und zwar die vollen 5 Sekunden reduziert. Aus den so erhaltenen Azimut- und Höhenwinkeln konnte dann die jedesmalige Lage des Flugzeuges in bezug auf ein rechtwinkliges, dreiachsiges Koordinatensystem berechnet werden.

Es bedeuten in Figur 8: A und B die beiden Beobachtungsstandpunkte, $+x$, $+y$, $+z$ die Richtungen der Koordinatenachsen, F die Lage des Flugzeuges im Raum, F_1 die Projektion auf die Erdoberfläche (x, y-Ebene) und $a_1 h_1$ bzw. $a_2 h_2$ die in den Standpunkten beobachteten Azimut- und Höhenwinkel, b die Länge der Basis AB. Dann ist

$$x = + \frac{b \cos a_1 \sin a_2}{\sin (a_2 - a_1)}$$

$$y = + \frac{b \sin a_1 \sin a_2}{\sin (a_2 - a_1)}$$

$$z = + \frac{b \sin a_2 \operatorname{tg} h_1}{\sin (a_2 - a_1)} = - \frac{b \sin a_1 \operatorname{tg} h_2}{\sin (a_2 - a_1)} .$$

und es besteht infolgedessen die Bedingungsgleichung

$$\sin a_2 \operatorname{tg} h_1 + \sin a_1 \operatorname{tg} h_2 = 0 .$$

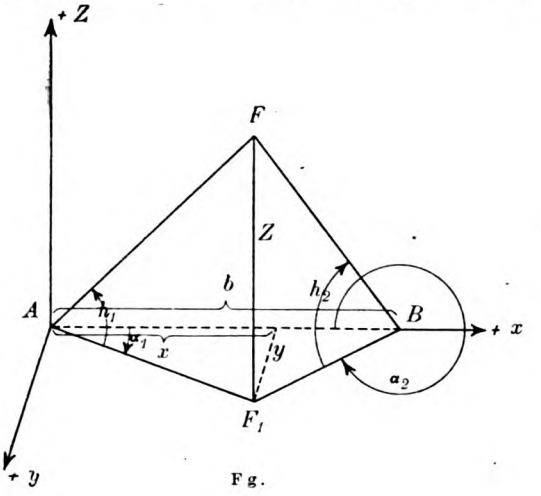


Fig.

Aus den sehr zahlreichen in Rechlin erhaltenen Beobachtungsreihen greife ich als Beispiel ganz willkürlich eine kurze Reihe heraus und stellte die hier interessierenden Zahlen in folgender Tabelle zusammen:

t	a_1 °C	h_1 °C	a_2 °C	h_2 °C	w	δa_1 °C	δh_1 °C	δa_2 °C	δh_2 °C	$\delta\delta$	m °C
7h 22′ 35″	313,95	14,96	103,58	19,82	+ 0,00025	− 0,002	− 0,008	+ 0,002	+ 0,006	+ 0,000109	± 0,010
40″	313,17	15,00	102,79	19,73	− 27	+ 2	+ 9	− 2	− 7	+ 126	± 11
45″	3 2,41	15,05	102,02	19,64	− 51	+ 4	+ 16	− 4	− 13	+ 445	± 21
50″	311,66	15,11	101,28	19,54	− 85	+ 2	+ 11	− 3	− 9	+ 207	± 14
55″	310,92	15,16	100,57	19,44	− 35	+ 2	+ 11	− 3	− 9	+ 205	± 14
23′ 00″	310,18	15,21	99,89	19,34	− 32	+ 2	+ 10	− 2	− 8	+ 170	± 13
5″	309,44	15,25	99,23	19,24	− 41	+ 3	+ 13	− 3	− 11	+ 319	± 18
10″	308,70	15,29	98,58	19,14	− 54	+ 3	+ 16	− 4	− 13	+ 474	± 22
15″	307,96	15,33	97,95	19,04	− 60	+ 4	+ 18	− 5	− 15	+ 582	± 24
20″	307,23	15,38	97,29	18,94	− 37	+ 2	+ 11	− 3	− 9	+ 219	± 15

Mittel: ± 0,0162

Es bedeuten: t die Beobachtungszeiten, a_1, h_1, a_2, h_2 die mit Hilfe graphischer Interpolation aus den direkten Beobachtungen für die Zeiten t gefundenen reduzierten Azimute und Höhen, w die aus der Bedingungsgleichung sich ergebenden Widersprüche; δa_1, δh_1, δa_2, δh_2 die durch Ausgleichungsrechnung gefundenen Verbesserungszuschläge, m die aus der Ausgleichungsrechnung resultierenden mittleren Fehler

einer Winkelbeobachtung. Wie man sieht, ergibt das Mittel aus den mittleren Fehlern den außerordentlich kleinen Betrag von 0,016°; 0,02° (die Nonienangabe) wird nur 3mal ein wenig überschritten.

Daß die Widersprüche bis auf einen Wert durchweg gleiche Vorzeichen haben, zeigt, daß noch kleine systematische Fehler in den Werten stecken, die sich wohl ohne weiteres daraus erklären, daß die in der Rechnung benutzten Werte von nicht sehr geübten Zeichnern durch graphische Interpolation erhalten sind, wobei als Maßstab 1 mm = 0,1° bzw. 0,1 Zeitsekunden gewählt worden ist. Durch diese graphische Interpolation dürften die Beobachtungen im allgemeinen verschlechtert worden sein, so daß man sicher durchaus berechtigt ist, die Genauigkeit der Winkelmessungen auf 0,01° zu schätzen, übereinstimmend mit der Genauigkeit, mit der die registrierten Winkel überhaupt abzulesen sind.

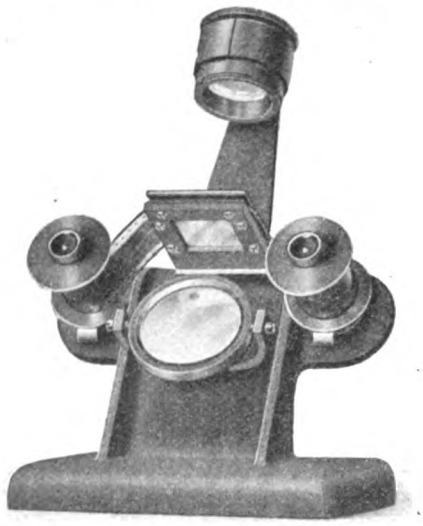


Fig. 9.

Zum Ablesen der Filmbänder wird dem Theodoliten ein kleiner, sehr bequemer Apparat mitgegeben, dessen Einrichtung und Gebrauch ohne weiteres aus Figur 9 hervorgeht, und der die Ablesung sehr schnell und bequem gestattet.

Mängel haben sich beim Gebrauch kaum herausgestellt. Bei Neuanfertigungen wäre etwa auf folgende Punkte zu achten:

1. Es wäre wünschenswert, den eigentlichen Theodoliten erheblich größer, etwa $1\,^1/_2$—2mal so groß zu bauen; dadurch würde eine bequemere Anordnung der Registrierkamera und des Motors ermöglicht und die Stabilität noch erhöht werden.

2. Zurzeit werden die Kreisstücke mit ihren Nonien in natürlicher Größe photographiert. Es wird sich empfehlen, statt dessen für die Bildgröße das Verhältnis $^1/_2$—$^1/_3$ zu wählen und die Vergrößerung des Ableseapparates entsprechend zu verstärken. Dadurch wird einmal an Lichtstärke gewonnen, so daß die Belichtungszeit für die Kamera herabgesetzt werden kann, und zweitens eine recht erhebliche Ersparnis am Film erzielt.

3. Die Kamera ist für 6-m-Film eingerichtet, was ca. 200 Registrierungen gestattet. Es wird sich anstatt dessen wohl empfehlen, die Instrumente für mindestens 1000 Registrierungen einzurichten, denn das immerhin zwar sehr bequeme Auswechseln des Filmes wurde doch oft bei den Beobachtungen in Rechlin als lästig empfunden.

4. Das Fernrohr wäre gleich von vornherein statt mit einfachem Fadenkreuz mit einer Strichplatte (vgl. S. 286, Fig. 7) auszurüsten. Der Abstand der Striche wird etwa so zu wählen sein, daß der Winkelwert 0,10° beträgt, wenn die Nonienangabe wie bei bisher ausgeführten Instrumenten 0,02° betragen soll oder entsprechend.

Zusammenfassend wäre etwa folgendes zu sagen: Der Bambergsche Registrier-Theodolit ist ein Instrument, das fortlaufende Beobachtungen sehr schnell bewegter Ziele mit bisher unerreichbarer Genauigkeit in außerordentlich schneller Aufeinanderfolge gestattet.

Bei bisher mit Instrumenten dieser Art angestellten Beobachtungen an Flugzeugen (Geschwindigkeiten bis zu 70 m pro Sek., Folge der Beobachtungen ungefähr alle 2 Sek.) ergab sich der mittlere Fehler einer Winkelmessung nicht größer als $0{,}02^0$, während der Kreis auf $0{,}01^0$ abzulesen war (Nonienangabe $0{,}02^0$).

Auf allen Gebieten, bei denen es auf die genaue Kenntnis der Bahnen bewegter Gegenstände ankommt, besonders also wohl in der Luftschiffahrt, Ballistik und in der Meteorologie — zur Untersuchung von Luftströmungen mittels Pilotballons — wird der Registrier-Theodolit, nicht nur mit größtem Vorteil weiteste Anwendung finden können, sondern vielfach auch erst die exakte Bearbeitung von Fragen ermöglichen, an die bisher mangels geeigneter Hilfsmittel gar nicht gedacht werden konnte.

Erwähnen möchte ich schließlich zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Instrumente noch, daß sich bei meinen Flugzeuggeschwindigkeitsmessungen auf dem Rechliner Flugplatz die mittleren Fehler der gemessenen Geschwindigkeiten fast ausnahmslos kleiner als $\pm 0{,}5$ m/sek herausgestellt haben. So ergaben z. B. zwei mit einem Flugzeug Type Fokker D VII angestellte Versuche, wo bei dem ersten die Maschine mit Stielen und Kabeln, in dem zweiten mit Stielen, ohne Kabeln geflogen wurde, nach der Ausgleichung die Geschwindigkeiten von 47,67 m/sek bzw. 49,40 m/sek mit einem mittleren Fehler von $\pm 0{,}272$ und $\pm 0{,}340$ m/sek. Genauer aber, als diese mittleren Fehler angeben, dürfte die Geschwindigkeit eines Flugzeuges in ruhender Luft überhaupt nicht definiert sein. Wirklich zuverlässige Flugzeuggeschwindigkeitsmessungen sind aber meines Wissens mit andern Hilfsmitteln bisher überhaupt nicht erhalten worden.

Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel[1]).

Von
Dr. **Arthur Kerber** †.

I.

Wenn die Seidelsche Fehlertheorie (*Astron. Nachr.* **43**. *S. 289—332. 1855*) so lange unbeachtet geblieben ist, so liegt das daran, daß L. Seidel den (durch das ursprüngliche Objekt gelegten) Meridianschnitt nicht mit der Ebene der x, y zusammenfallen, sondern mit dieser einen beliebigen Winkel bilden läßt, also den allgemeinsten Fall behandelt hat. Dazu kommt dann noch die ungewöhnliche, oft verwirrende Bezeichnung, indem er beispielsweise die Elemente des gebrochenen Strahles in derselben Gleichung auf der linken Seite durch Akzente, auf der rechten durch die Marken $+$ bezeichnet, den Akzent auch bei den Elementen des einfallenden Strahles verwendet hat usw. Es könnte danach scheinen, als ob die Theorie von Seidel sich für ein Lehrbuch der geometrischen Optik wenig eignete, sondern nur für Mathematiker von Fach geschrieben wäre. Das würde aber meiner Ansicht nach ein großer Irrtum sein; denn gerade diese Darstellung der Fehlertheorie

---

[1]) Das Erscheinen der vorliegenden nachgelassenen Arbeit Kerbers hat sich ihres Umfangs wegen stark verzögert. Die Korrekturen hat der Verfasser noch auf seinem letzten Krankenlager gelesen. Die Schriftleitung ist Herrn Dr. Boegehold-Jena für die endgültige kritische Durchsicht des Aufsatzes zu großem Danke verpflichtet.

einer Winkelbeobachtung. Wie man sieht, ergibt das Mittel aus den mittleren Fehlern den außerordentlich kleinen Betrag von 0,016°; 0,02° (die Nonienangabe) wird nur 3mal ein wenig überschritten.

Daß die Widersprüche bis auf einen Wert durchweg gleiche Vorzeichen haben, zeigt, daß noch kleine systematische Fehler in den Werten stecken, die sich wohl ohne weiteres daraus erklären, daß die in der Rechnung benutzten Werte von nicht sehr geübten Zeichnern durch graphische Interpolation erhalten sind, wobei als Maßstab 1 mm = 0,1° bzw. 0,1 Zeitsekunden gewählt worden ist. Durch diese graphische Interpolation dürften die Beobachtungen im allgemeinen verschlechtert worden sein, so daß man sicher durchaus berechtigt ist, die Genauigkeit der Winkelmessungen auf 0,01° zu schätzen, übereinstimmend mit der Genauigkeit, mit der die registrierten Winkel überhaupt abzulesen sind.

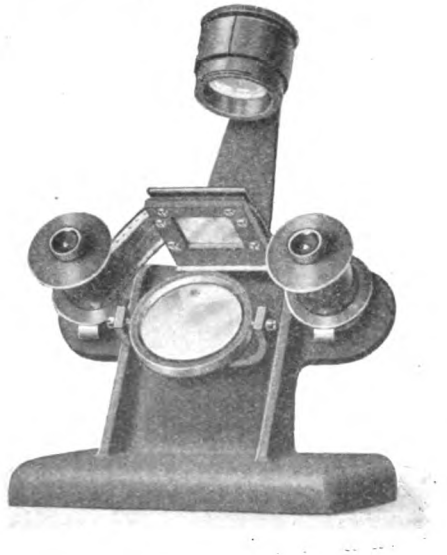


Fig. 9.

Zum Ablesen der Filmbänder wird dem Theodoliten ein kleiner, sehr bequemer Apparat mitgegeben, dessen Einrichtung und Gebrauch ohne weiteres aus Figur 9 hervorgeht, und der die Ablesung sehr schnell und bequem gestattet.

Mängel haben sich beim Gebrauch kaum herausgestellt. Bei Neuanfertigungen wäre etwa auf folgende Punkte zu achten:

1. Es wäre wünschenswert, den eigentlichen Theodoliten erheblich größer, etwa $1\,^1/_2$—2mal so groß zu bauen; dadurch würde eine bequemere Anordnung der Registrierkamera und des Motors ermöglicht und die Stabilität noch erhöht werden.

2. Zurzeit werden die Kreisstücke mit ihren Nonien in natürlicher Größe photographiert. Es wird sich empfehlen, statt dessen für die Bildgröße das Verhältnis $^1/_2$—$^1/_3$ zu wählen und die Vergrößerung des Ableseapparates entsprechend zu verstärken. Dadurch wird einmal an Lichtstärke gewonnen, so daß die Belichtungszeit für die Kamera herabgesetzt werden kann, und zweitens eine recht erhebliche Ersparnis am Film erzielt.

3. Die Kamera ist für 6-m-Film eingerichtet, was ca. 200 Registrierungen gestattet. Es wird sich anstatt dessen wohl empfehlen, die Instrumente für mindestens 1000 Registrierungen einzurichten, denn das immerhin zwar sehr bequeme Auswechseln des Filmes wurde doch oft bei den Beobachtungen in Rechlin als lästig empfunden.

4. Das Fernrohr wäre gleich von vornherein statt mit einfachem Fadenkreuz mit einer Strichplatte (vgl. S. 286, Fig. 7) auszurüsten. Der Abstand der Striche wird etwa so zu wählen sein, daß der Winkelwert 0,10° beträgt, wenn die Nonienangabe wie bei bisher ausgeführten Instrumenten 0,02° betragen soll oder entsprechend.

Zusammenfassend wäre etwa folgendes zu sagen: Der Bambergsche Registrier-Theodolit ist ein Instrument, das fortlaufende Beobachtungen sehr schnell bewegter Ziele mit bisher unerreichbarer Genauigkeit in außerordentlich schneller Aufeinanderfolge gestattet.

Bei bisher mit Instrumenten dieser Art angestellten Beobachtungen an Flugzeugen (Geschwindigkeiten bis zu 70 m pro Sek., Folge der Beobachtungen ungefähr alle 2 Sek.) ergab sich der mittlere Fehler einer Winkelmessung nicht größer als $0{,}02^0$, während der Kreis auf $0{,}01^0$ abzulesen war (Nonienangabe $0{,}02^0$).

Auf allen Gebieten, bei denen es auf die genaue Kenntnis der Bahnen bewegter Gegenstände ankommt, besonders also wohl in der Luftschiffahrt, Ballistik und in der Meteorologie — zur Untersuchung von Luftströmungen mittels Pilotballons — wird der Registrier-Theodolit, nicht nur mit größtem Vorteil weiteste Anwendung finden können, sondern vielfach auch erst die exakte Bearbeitung von Fragen ermöglichen, an die bisher mangels geeigneter Hilfsmittel gar nicht gedacht werden konnte.

Erwähnen möchte ich schließlich zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Instrumente noch, daß sich bei meinen Flugzeuggeschwindigkeitsmessungen auf dem Rechliner Flugplatz die mittleren Fehler der gemessenen Geschwindigkeiten fast ausnahmslos kleiner als $\pm 0{,}5$ m/sek herausgestellt haben. So ergaben z. B. zwei mit einem Flugzeug Type Fokker D VII angestellte Versuche, wo bei dem ersten die Maschine mit Stielen und Kabeln, in dem zweiten mit Stielen, ohne Kabeln geflogen wurde, nach der Ausgleichung die Geschwindigkeiten von 47,67 m/sek bzw. 49,40 m/sek mit einem mittleren Fehler von $\pm 0{,}272$ und $\pm 0{,}340$ m/sek. Genauer aber, als diese mittleren Fehler angeben, dürfte die Geschwindigkeit eines Flugzeuges in ruhender Luft überhaupt nicht definiert sein. Wirklich zuverlässige Flugzeuggeschwindigkeitsmessungen sind aber meines Wissens mit andern Hilfsmitteln bisher überhaupt nicht erhalten worden.

Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel[1]).

Von
Dr. **Arthur Kerber** †.

I.

Wenn die Seidelsche Fehlertheorie (*Astron. Nachr.* **43.** *S. 289—332. 1855*) so lange unbeachtet geblieben ist, so liegt das daran, daß L. Seidel den (durch das ursprüngliche Objekt gelegten) Meridianschnitt nicht mit der Ebene der x, y zusammenfallen, sondern mit dieser einen beliebigen Winkel bilden läßt, also den allgemeinsten Fall behandelt hat. Dazu kommt dann noch die ungewöhnliche, oft verwirrende Bezeichnung, indem er beispielsweise die Elemente des gebrochenen Strahles in derselben Gleichung auf der linken Seite durch Akzente, auf der rechten durch die Marken + bezeichnet, den Akzent auch bei den Elementen des einfallenden Strahles verwendet hat usw. Es könnte danach scheinen, als ob die Theorie von Seidel sich für ein Lehrbuch der geometrischen Optik wenig eignete, sondern nur für Mathematiker von Fach geschrieben wäre. Das würde aber meiner Ansicht nach ein großer Irrtum sein; denn gerade diese Darstellung der Fehlertheorie

---

[1]) Das Erscheinen der vorliegenden nachgelassenen Arbeit Kerbers hat sich ihres Umfangs wegen stark verzögert. Die Korrekturen hat der Verfasser noch auf seinem letzten Krankenlager gelesen. Die Schriftleitung ist Herrn Dr. Boegehold-Jena für die endgültige kritische Durchsicht des Aufsatzes zu großem Danke verpflichtet.

wird nach meiner Überzeugung, wenn man den Meridianschnitt mit der Ebene der x, y, der Ebene des Papieres, zusammenfallen läßt, bei angemessener Bezeichnung wie keine andere, für das Studium der geometrischen Optik werbend wirken, weil sie zu nützlichen und wichtigen Entwicklungen und dadurch zur Vertiefung in den Lehrstoff und zur Beherrschung der Formeln führt.

II.

Im folgenden ist r der Radius der c-ten Kugelfläche. Es bedeuten ferner n und n' die Exponenten der beiden Medien, von denen diese eingeschlossen ist, m und m' ihre Reziproke und

$N = m - m' = \frac{n' - n}{n n'}$ die Differenz der letzteren.

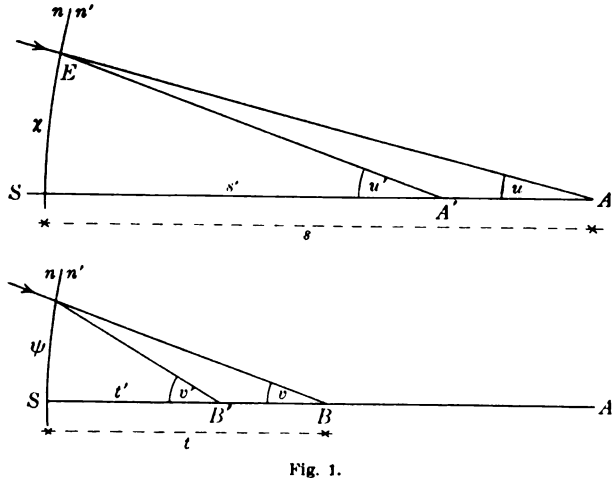


Fig. 1.

Ferner sollen die Bestimmungsstücke des sogenannten ersten Seidelschen Hilfsstrahles (eines achsennahen Strahles aus der Mitte der ursprünglichen Objektebene) in folgender Weise bezeichnet werden (Fig. 1):

seine Einfallshöhe an der c-ten Fläche durch χ_c,
die Schnittweite vor und nach der Brechung durch s_c, s_c',
der Achsenwinkel vor und nach der Brechung durch u_c, u_c',
der Brechungswinkel vor und nach der Brechung durch i_c, i_c';

und ähnlich die Bestimmungsstücke des zweiten Hilfsstrahles (eines achsennahen Strahles durch den Mittelpunkt der Eintrittspupille, d. i. der ersten Öffnungsebene),

seine Einfallshöhe an der c-ten Fläche durch ψ_c,
die Schnittweite vor und nach der Brechung durch t_c, t_c',
der Achsenwinkel " " " " " " v_c, v_c',
der Inzidenzwinkel " " " " " " j_c, j_c'.

Wenden wir uns nun zu den Bestimmungsstücken (Ordinaten) eines beliebigen Strahles, so denke man sich durch die Strahlschnittpunkte der Seidelschen Hilfsstrahlen mit der optischen Achse, A und A', B und B' (Fig. 2), vor und nach der c-ten Brechung transversale Ebenen gelegt, die mit dem Meridianschnitt, auf dem sie senkrecht stehen, die Kanten AC, $A'C'$ und BD, $B'D'$ bilden.

Diese Transversalschnitte sind die sogenannten Gaußschen Grundebenen und werden nach dem Vorgange Seidels im folgenden durch A, A' und B, B' bezeichnet. Ein beliebiger windschiefer Strahl von mäßig großer Neigung, der die Kugelfläche im Punkte $\mathfrak{E}$ (senkrecht über E zu denken) trifft, wird nun in der Regel vor und nach der Brechung an der c-ten Fläche die Gaußschen Ebenen A und A' nicht in den Kantenpunkten C und C' (Fig. 2) durchdringen, sondern etwas über oder unter diesen, in $\mathfrak{C}$ und $\mathfrak{C}'$, die beiden Öffnungsebenen B und B' in den Punkten $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{D}'$ (senkrecht über D und D'). Durch die Ordinaten dieser vier Schnittpunkte

ist die Lage unseres windschiefen Strahles festgelegt; es sind dies die Bestimmungsstücke, von denen oben die Rede war. Wir bezeichnen nun durch

$y_c = AC$, $y_c' = A'C'$ (Fig. 2) die ersten Ordinaten der Strahlschnittpunkte mit A und A',

$\delta z_c = C\mathfrak{C}$, $\delta z_c' = C'\mathfrak{C}'$ (es sind dies kleine Größen dritter Ordnung) die zweiten Ordinaten dieser Punkte. Ferner seien, entsprechend der Bezeichnung Seidels,

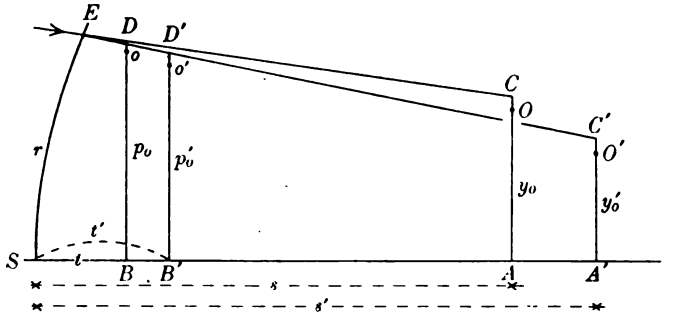


Fig. 2.

$(y_0)_c = AO$, $(y_0')_c = A'O'$ die Ordinaten der idealen, nach den Formeln der Gaußschen Theorie bestimmten Strahlschnittpunkte in A und A'; die zweiten Ordinaten $(z_0)_c$ und $(z_0')_c$ sind gleich Null, weil der ideale Objekt- bzw. Bildpunkt wie der ursprüngliche Objektpunkt im Meridianschnitte liegen muß. Dementsprechend sind

$(p_0)_c$, $(p_0')_c$, $(q_0)_c$ und $(q_0')_c$ die Ordinaten der idealen Strahlschnittpunkte mit den Öffnungsebenen, während

p_c, p_c', q_c und q_c' die wirklichen Koordinaten sind. Endlich wählen wir für die Differenzen der wirklichen und idealen Koordinaten, d. h. für die gesuchten Abweichungen dritter Ordnung, die Abkürzungen

$$\delta y_c = y_c \quad (y_0)_c = OC, \quad \delta y_c' = y_c' - (y_0')_c = O'C', \quad \delta z_c = C\mathfrak{C}, \quad \delta z_c' = C'\mathfrak{C}'.$$

Was die Vorzeichen der Bestimmungsstücke anlangt, so bezeichnen wir zunächst die Schnittweiten der beiden Seidelschen Hilfsstrahlen durch $-s_c(-t_c)$ und $-s_c'(-t_c')$, wenn sie im Sinne der Lichtbewegung vor dem c-ten Flächenscheitel liegen durch $+s_c(+t_c)$ und $+s_c'(+t_c')$, wenn sie dahinter liegen[1]). Ebenso bezeichnen wir die Radien durch $-r_c$ oder $+r_c$, je nachdem der Krümmungsmittelpunkt vor oder hinter dem Linsenscheitel liegt.

Die Ordinaten der Strahlschnittpunkte mit den Gaußschen Ebenen unterscheiden wir in analoger Weise durch

$$+y,\ +y',\ +\delta z,\ +\delta z',\ +p,\ +p',\ +q,\ +q',$$
$$\text{und } -y,\ -y',\ -\delta z,\ -\delta z',\ -p,\ -p',\ -q,\ -q',$$

je nachdem sie von der optischen Achse im Meridianschnitt nach oben oder unten

[1]) K. Schwarzschild hat in seinen Untersuchungen zur geometrischen Optik (Berlin 1905), abweichend von der üblichen Bestimmung, die Strahlschnittweiten vor und nach der Brechung durch $+s$, $+s'$, $+t$, $+t'$ bezeichnet, wenn sie vor dem Scheitel liegen, sonst durch $-s$, $-t$ usw. Dies hat auch seinen guten Grund. Denn er leitet die Seidelschen Formeln nicht geometrisch aus der Brechung von Kugelflächen ab, deren Scheitel dann als Fixpunkte zu betrachten sind, sondern wellentheoretisch auf Grund des Eikonalbegriffes aus der optischen Weglänge zwischen dem Objekt- und Bildpunkt P_0 und P_1, und dementsprechend mußten diese, nicht die Flächenscheitel bei Bestimmung der Lage von s und s' als Anfangspunkte angesehen werden, so daß die hinter P_0, bzw. P_1 liegende Schnittweite durch $+s$ bzw. $+s'$ zu bezeichnen war.

bzw. vom Meridianschnitt aus in den Gaußschen Ebenen nach rechts oder links gerichtet sind[1]).

Endlich bezeichnen wir die Achsenwinkel der Seidelschen Hilfsstrahlen durch $+u$, $+u'$ und $+v$, $+v'$, wenn die Drehung der optischen Achse durch den Winkelraum in die Richtung des Lichtstrahles der Uhrzeigerbewegung entsprechend ist, sonst durch $-u$, $-u'$ und $-v$, $-v'$; die Brechungswinkel dieser Strahlen durch $+i$, $+i'$ und $+j$, $+j'$, wenn die Drehung des Strahles in die Richtung des Einfallslotes der Uhrzeigerbewegung folgt, anderenfalls durch $-i$, $-i'$ und $-j$, $-j'$[2]).

III.

Die Ableitung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung hat die Kenntnis der Theorie der achsennahen Strahlen, der sogenannten Gaußschen Dioptrik, zur Voraussetzung. Auch diese ist von Seidel in einer Weise behandelt worden, daß keine zweite, weder die von Gauß noch die Abbesche Abbildungslehre, mit ihr verglichen werden kann. Sie folgt aus zwei Grundgleichungen, die an die Spitze der Entwicklung zu stellen sind, nämlich aus der Gleichung von Lagrange-Helmholtz und der sogenannten Seidelschen Eliminationsgleichung.

Die Gleichung von Lagrange-Helmholtz.

Dieselbe ergibt sich für beliebig große Nebenachsenwinkel ($\gamma = 0$ bis $\pm 90^0$) durch die folgende Betrachtung. Es seien (Fig. 3) C und C' zwei achsennahe Punkte in den Gaußschen Ebenen A und A'. Denkt man sich von C nach S den Scheitelstrahl gezogen, so geht derselbe nach der Brechung durch den konjugierten Punkt C', und es ergibt sich nach dem Brechungsgesetze

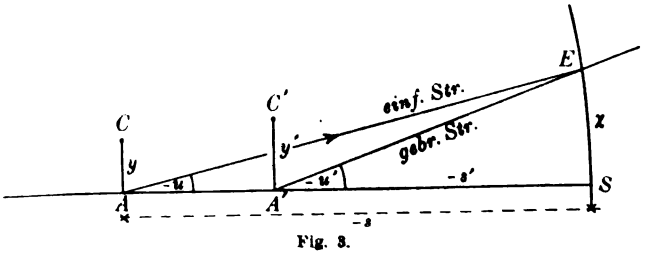


Fig. 3.

$$n \cdot CSA = n' \cdot C'SA',$$

oder, wegen $CSA = y:(-s)$ und $C'SA' = y':(-s')$,

$$\frac{n\,y}{s} = \frac{n'y'}{s'}.$$

Multipliziert man diese Gleichung noch mit χ, der Einfallshöhe des achsennahen Strahles aus der Mitte der Objektebene, so erhält man die Gleichung von Lagrange-Helmholtz in der Form

$$n_c\, u_c\, y_c = n_c'\, u_c'\, y_c'.$$

[1]) Wenn hierbei z. B. die Ordinate von reellen Punkten, weil sie unterhalb der optischen Achse liegt, $= -y$ gesetzt wird, so nimmt wohl niemand daran Anstoß. Es ist daher ganz unverständlich, wenn jemand Anstoß daran nimmt, daß die Schnittweite reeller Achsenpunkte, die links vom Linsenscheitel liegt, $= -s$ gesetzt werden muß. Es handelt sich hierbei doch um die Lage von Koordinaten, nicht um die Beschaffenheit von Punkten.

[2]) In der Zeitschrift „Der Mechaniker" 16, S. 12—14, 1908 habe ich das Gegenteil behauptet. In Wahrheit ist bei diesen Winkeln der Strahl, nachdem man seine Lage durch die Anfangskoordinaten festgelegt hat, als erster Schenkel dieser Winkel zu betrachten, nicht das Einfallslot, das erst später vom Kugelmittelpunkte nach dem Einfallspunkte gezogen wird. Die in Jena eingeführte Zählung ist somit die richtige, und ich möchte auch der Anstalt von C. P. Görz und anderen empfehlen, sie einzuführen.

Daraus folgt, indem man c die Werte 1 bis k durchlaufen läßt, mit Berücksichtigung von $n_1' = n_2$, $u_1' = u_2$, $y_1' = y_2$, $n_2' = n_3$, $u_2' = u_3$, $y_2' = y_3$ usw.

$$\left.\begin{aligned} & n_1 u_1 y_1 = n_1' u_1' y_1' = n_2 u_2 y_2 = n_2' u_2' y_2' \\ &= n_3 u_3 y_3 = n_3' u_3' y_3' = n_4 u_4 y_4 = n_4' u_4' y_4' \\ &= n_5 u_5 y_5 = n_5' u_5' y_5' = n_6 u_6 y_6 = n_6' u_6' y_6' \\ &= \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &= n_k u_k y_k = n_k' u_k' y_k'. \end{aligned}\right\} \quad 1)$$

Während also die wirklichen Ordinaten der Durchstoßungspunkte achsennaher schiefer Strahlen mit den Gaußschen Ebenen A und A' (y_c und y_c') für jede Fläche verschiedene Werte haben, bleiben die mit $n_c u_c$, bzw. $n_c' u_c'$ multiplizierten Ordinaten für alle Flächen desselben optischen Systems unverändert (invariant). Diese modifizierten Ordinaten sind es, denen man in der Optik den Namen der Seidelschen oder reduzierten Ordinaten beigelegt hat. Bezeichnet man daher die Invariante durch Y, so kann die Gleichung auch geschrieben werden

$$n_c u_c y_c = n_c' u_c' y_c' = Y. \quad 2)$$

Ganz in derselben Weise findet man, indem man in der vorigen Figur die beiden ersten Gaußschen Ebenen als Öffnungsebenen betrachtet, also s mit t, u mit v, y mit p und χ mit ψ vertauscht, für konjugierte Strahlschnittpunkte in den Öffnungsebenen $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{D}'$

$$n_c v_c p_c = n_c' v_c' p_c' = P, \quad 3)$$

und

$$n_c v_c q_c = n_c' v_c' q_c' = Q, \quad 4)$$

worin die Größen P und Q, die sogenannten Seidelschen Öffnungsordinaten, ebenfalls als Invarianten aufzufassen sind. Auch das Quadrat des Radiusvektors der Strahlschnittpunkte mit diesen Ebenen ist invariant, so daß man setzen kann

$$n_c^2 v_c^2 (p_c^2 + q_c^2) = n_c'^2 v_c'^2 (p_c'^2 + q_c'^2) = R^2.$$

Schließlich sei bemerkt, daß es für die zweiten Ordinaten in A und A', wegen $z = z' = 0$, selbstverständlich keine reduzierten Werte gibt, wenn man den Meridianschnitt mit der Ebene der x, y zusammenfallen läßt.

Die Seidelsche Eliminationsgleichung.

Sie ergibt sich ohne weiteres aus Gl. 2, indem man einführt $y = -(s-t)v$ und $y' = -(s'-t')v'$ (vgl. Fig. 4). Auf diese Weise wird

$$n_c u_c v_c (s_c - t_c) = n_c' u_c' v_c' (s_c' - t_c').$$

Wenn man nun wie früher den Index c alle Werte bis k durchlaufen läßt, so erhält man daraus, mit Berücksichtigung von $s_1' - t_1' = s_2 - t_2$, $s_2' - t_2' = s_3 - t_3$ usw.

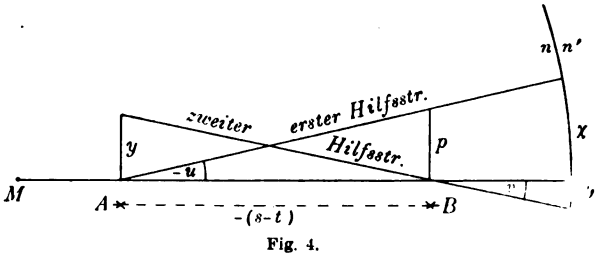


Fig. 4.

$$\left.\begin{aligned} & n_1 u_1 v_1 (s_1 - t_1) = n_1' u_1' v_1' (s_1' - t_1') = n_2 u_2 v_2 (s_2 - t_2) = n_2' u_2' v_2' (s_2' - t_2') \\ &= n_3 u_3 v_3 (s_3 - t_3) = n_3' u_3' v_3' (s_3' - t_3') = n_4 u_4 v_4 (s_4 - t_4) = n_4' u_4' v_4' (s_4' - t_4') \\ &= \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ &= n_k u_k v_k (s_k - t_k) = n_k' u_k' v_k' (s_k' - t_k'). \end{aligned}\right\} \quad 5)$$

Während also $s - t$ und $s' - t'$ von Fläche zu Fläche sich verändern, bleiben diese mit $n_c u_c v_c$, bzw. $n_c' u_c' v_c'$ multiplizierten axialen Strecken unverändert, und, wenn man die entsprechende Invariante durch T bezeichnet, so ergibt sich schließlich die Seidelsche Eliminationsgleichung in der Form

$$n_c u_c v_c (s_c - t_c) = n_c' u_c' v_c' (s_c' - t_c') = T. \qquad 6)$$

Zu bemerken ist hierzu, daß diese Gleichung auch

$$n_c u_c v_c (s_c - r_c - t_c + r_c) = n_c' u_c' v_c' (s_c' - r_c - t_c' + r_c) = T$$

geschrieben werden kann. Hierin ist nach der folgenden Entwicklung im Abschnitt VI

$$s - r = \frac{ri}{u}, \qquad t - r = \frac{rj}{v}.$$

sodaß die Gleichung sich in

$$n_c r_c (v_c i_c - u_c j_c) = n_c' r_c (v_c' i_c' - u_c' j_c') = T$$

verwandeln läßt. Diese soll im folgenden als zweite Form der Seidelschen Eliminationsgleichung bezeichnet werden.

IV.

Aus diesen beiden fundamentalen Gleichungen folgt unmittelbar die Theorie der Gaußschen Kardinalpunkte. Betrachtet man z. B. zwei achsennahe Hilfsstrahlen (s, u) und (t, v), deren erster im Objekt-, der andere im Bildraume parallel verläuft, so ist zunächst bei k brechenden Flächen nach der Seidelschen Gleichung

$$n_1 u_1 v_1 (s_1 - t_1) = n_k' u_k' v_k' (s_k' - t_k'),$$

wofür in diesem Falle geschrieben werden kann

$$n_1 (u_1 s_1) v_1 - n_1 u_1 v_1 t_1 = n_k' u_k' v_k' s_k' - n_k' u_k' (v_k' t_k').$$

Hierin ist das unbestimmte Symbol $u_1 s_1$ (wegen $s_1 = \infty$, $u_1 = 0$) die Eintrittshöhe des ersten Hilfsstrahles, die durch h_1 (statt χ_1) bezeichnet sei, und $v_k' t_k'$ (wegen $t_k' = \infty$, $v_k' = 0$) die Austrittshöhe des zweiten Strahles (h_k'). Führt man diese Größen ein, so ergibt sich aus der letzten Gleichung ohne weiteres

$$n_1 h_1 v_1 = - n_k' u_k' h_k, \qquad \frac{n_1 h_1}{u_k'} = - \frac{n_k' h_k}{v_1}.$$

Den Quotienten der Eintrittshöhe eines achsennahen parallelen Strahles durch seine Neigung im entgegengesetzten Raume (u_k') bezeichnet man nun aber in der Optik als hintere Brennweite (f'), und ebenso den Quotienten der Austrittshöhe (h_k) eines parallel austretenden Strahles durch seine Anfangsneigung (v_1) als vordere Brennweite $(-f)$. Aus der letzten Gleichung ergibt sich also

$$n_1 f' = - n_k' f, \qquad \frac{f}{f'} = - \frac{n_1}{n_k'}. \qquad 7)$$

Das Verhältnis der vorderen zur hinteren Brennweite ist also gleich dem subtraktiven Quotienten der Exponenten des ersten und des letzten Mediums.

Ganz ähnlich folgen die übrigen Lehrsätze von den Kardinalpunkten unmittelbar aus den fundamentalen Gleichungen in Abschnitt III, auf deren Ableitung in einem Lehrbuche der geometrischen Optik näher eingegangen werden müßte. Es sind dies namentlich die folgenden:

$$-f' = \frac{n_k'}{n_1} F'K' \quad \text{und} \quad -f = \frac{n_1}{n_k'} FK. \qquad 8)$$

in Worten: Die mit n_1 reduzierte hintere Brennweite ist gleich dem Produkte aus dem Exponenten des letzten Mediums und dem axialen Abstande des hinteren Brenn-

und Knotenpunktes; und dementsprechend die mit n_k' multiplizierte vordere Brennweite gleich dem Produkte aus dem Exponenten des ersten Mediums und dem axialen Abstande des vorderen Brenn- und Knotenpunktes, wenn man als Knotenpunkte die einander konjugierten Achsenpunkte definiert, für die $v_k' = v_1$ ist.

Aus denselben fundamentalen Gleichungen ergibt sich ferner, wenn die konjugierten Punkte, für die Objekt und Bild gleich groß sind, als Hauptpunkte (H) bezeichnet werden,

$$HK = H'K', \tag{9}$$

d. h. der Abstand des Haupt- und Knotenpunktes ist im ersten und im letzten Medium derselbe, und

$$F'H' = -f'; \qquad FH = -f, \tag{10}$$

der Abstand des Brenn- und Hauptpunktes ist gleich der Brennweite desselben Raumes. Aus diesen Gleichungen erhält man schließlich

$$\left.\begin{aligned} F'H' - F'K' &= -\frac{n_k' - n_1}{n_k'} f', \quad \text{d. i.} \quad H'K' = -\frac{n_k' - n_1}{n_k'} f', \\ HK &= -\frac{n_1 - n_k'}{n_1} f, \qquad H'K' - HK = -\frac{n_k' - n_1}{n_k'}\left(f' + \frac{n_k'}{n_1} f\right), \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

und für $n_k' = n_1$: $H'K' = HK = 0$, d. h. bei Gleichheit des ersten und des letzten Mediums fallen Haupt- und Knotenpunkt zusammen.

V.

Auch die Abbeschen Abbildungsgleichungen sind Folgerungen der beiden Grundgesetze. Betrachtet man z. B. zwei Hilfsstrahlen (s_1, u_1) und (t_1, v_1), von denen jener durch zwei konjugierte Punkte A und A', dieser nach der Brechung durch den hinteren Brennpunkt F' geht, so hat man

$$n_1 u_1 (v_1 t_1) \frac{s_1 - t_1}{t_1} = n_k' u_k' v_k' (s_k' - t_k'),$$

d. i. wenn $v_1 t_1$ durch h_1 bezeichnet wird, wegen $t_1 = \infty$,

$$-n_1 u_1 h_1 = n_k' u_k' v_k' (s_k' - t_k'), \qquad -\frac{n_1 u_1 h_1}{n_k' u_k' v_k'} = s_k' - t_k', \qquad -\frac{n_1 u_1}{n_k' u_k'} f' = s_k' - t_k'.$$

Wenn man also den Abstand des Punktes A' von dem hinteren Brennpunkt F', d. h. $s_k' - t_k'$, nach dem Vorgange Abbes durch x' bezeichnet, so hat man die Beziehung

$$\frac{n_1 u_1}{n_k' u_k'} f' = -x',$$

oder nach dem Satze von Lagrange-Helmholtz

$$\frac{y'}{y_1} f' = -x', \qquad \frac{y'}{y_1} = -\frac{x'}{f'}, \tag{12}$$

d. h. die Lateralvergrößerung in konjugierten Punkten, für $f' = 1$, ist gleich dem subtraktiven Abstand des hinteren der konjugierten Punkte vom hinteren Brennpunkt.

In analoger Weise findet man

$$\frac{y'}{y_1} = -\frac{f}{x'}, \qquad xx' = ff'. \tag{13}$$

VI.

Für die Fehlertheorie kommen noch die folgenden, zum Teil bisher ganz unbeachtet gebliebenen Beziehungen in Betracht. Verfolgen wir den Gang eines achsennahen Strahles durch eine Kugelfläche (Fig. 5) vom Objekte über den Inzidenzpunkt bis zum Bilde und ziehen vom Kugelmittelpunkt M nach E das Einfallslot $ME = r$, so sind die Winkel zwischen Strahl und Einfallslot (AEM und $A'EM$) die Brechungswinkel i und i' (bzw. j und j'), und der Winkel EMS zwischen der optischen Achse und dem Einfallslote der sogenannte Kugelwinkel ϑ. Dieser ist nach

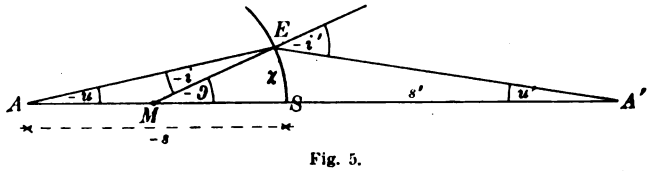


Fig. 5.

der Figur bestimmt durch

$$\vartheta = u + i = u' + i' = \frac{\chi}{r},$$

der Einfallswinkel durch

$$i = \vartheta - u = \frac{\chi}{r} - u,$$

oder, je nachdem man $u = \chi : s$, oder $\chi = su$ aus dieser Gleichung eliminiert, durch

$$i = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s}\right)\chi = \frac{s-r}{r}u.$$

Hieraus ergibt sich ferner, mit Rücksicht auf das Brechungsgesetz ($ni = n'i'$), für den zweiten Brechungswinkel i':

$$i' = \frac{n}{n'}i = \frac{n}{n'}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s}\right)\chi = \frac{n}{n'}\frac{s-r}{r}u;$$

ferner die Ablenkung des achsennahen Strahles

$$i - i' = \frac{n'-n}{n'}i, \quad \text{d. i.}$$

$$u' - u = i - i' = \frac{n'-n}{n'}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s}\right)\chi, \tag{14}$$

und, indem man $u = \chi : s$, $u' = \chi : s'$ einführt, die bekannte Schnittweitengleichung

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{r}.$$

Für den Blendenstrahl ist dementsprechend

$$j = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{t}\right)\psi = \frac{t-r}{r}v,$$

$$j' = \frac{n}{n'}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{t}\right)\psi = \frac{n}{n'}\frac{t-r}{r}v,$$

$$v' - v = \frac{n'-n}{n'}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{t}\right)\psi,$$

$$\frac{n'}{t'} - \frac{n}{t} = \frac{n'-n}{r}.$$

Aus der Schnittweitengleichung folgen weiter, nach Multiplikation mit der Einfallshöhe χ, bzw. Ψ, und nach Division mit nn', die Beziehungen

$$mu' - m'u = N \cdot \frac{\chi}{r}, \quad mv' - m'v = N \cdot \frac{\psi}{r}, \tag{15}$$

und aus diesen, indem man $(m + m')\,(u - u')$, bzw. $(m + m')\,(v - v')$ links und rechts addiert,

$$mu - m'u' = N \cdot \frac{\chi}{r} + (m + m')\,(u - u'), \quad mv - m'v' = N \cdot \frac{\psi}{r} + (m + m')\,(v - v').$$

Ferner ist, zufolge der Gleichung für $mu' - m'u$,

$$\frac{\chi}{r} = \frac{m}{N}u' - \frac{m'}{N}u, \quad \frac{\psi}{r} = \frac{m}{N}v' - \frac{m'}{N}v, \tag{16}$$

$$\frac{\chi}{r} - u = \frac{m}{N}(u' - u), \quad \frac{\psi}{r} - v = \frac{m}{N}(v' - v),$$

$$\frac{\chi}{r} - u' = \frac{m'}{N}(u' - u), \quad \frac{\psi}{r} - v' = \frac{m'}{N}(v' - v). \tag{17}$$

Endlich folgen aus der Seidelschen Eliminationsgleichung die Beziehungen

$$mT = uvs - uvt = \chi \cdot v - \psi \cdot u, \tag{18}$$

$$m'T = u'v's' - u'v't' = \chi \cdot v' - \psi \cdot u', \tag{19}$$

also nach Subtraktion der beiden Gleichungen

$$NT = \chi(v - v') - \psi(u - u'). \tag{20}$$

Ich füge noch die folgende Beziehung bei, weil die spätere Entwicklung dadurch vereinfacht wird. Den vierten Abweichungskoeffizienten, den ich durch α_{IV} bezeichne, hat L. Seidel ursprünglich in der Form

$$\alpha_{IV} = -\frac{\chi(u - u')\,(v - v')\,(mv - m'v')}{T^2N^2} - \frac{(u - u')\,(mv' - m'v)}{TN} + \chi\frac{(v - v')^2\,(mu - m'u')}{T^2N^2}$$

gefunden. Setzt man hierin für $mv' - m'v$, $mu - m'u'$ und $mv - m'v'$ die soeben mitgeteilten Werte ein, so wird

$$\alpha_{IV} = \frac{N}{r}\left[\frac{\chi^2(v - v')^2 - \chi\psi(u - u')(v - v')}{T^2N^2} - \frac{\psi(u - u')}{TN}\right].$$

Nach Gl. 20 ist aber $\chi(v - v') = TN + \psi(u - u')$. Nach Einführung dieses Werte) ergibt sich dann die denkwürdige Beziehung

$$\alpha_{IV} = \frac{N}{r} = \frac{n' - n}{nn'r},$$

die bei einer anderen, als der Seidelschen Entwicklung (A. Kerber, Beiträge zur Dioptrik, Leipzig 1895, Abschn. V) sich sozusagen von selber einstellt.

VII.

Jetzt wenden wir uns von der Gaußschen Theorie zur Seidelschen Dioptrik, von der Theorie der achsennahen Strahlen zur Entwicklung der Fehler dritter Ordnung der Strahlen von mäßig großer Neigung. Ein windschiefer Strahl falle auf die c-te Kugelfläche (Fig. 6), deren Scheitel und Mittelpunkt durch S und M bezeichnet seien, schneide ihre Scheitelebene im Punkt $\mathfrak{T}$, die Kugelfläche selbst in $\mathfrak{E}$ (senkrecht über T und E zu denken) und durchdringe bei gehöriger Verlängerung die Mittel-

punktsebene in $\mathfrak{N}$ (senkrecht über N), den Meridianschnitt, d. h. die Ebene des Papieres in O. Nach der Brechung möge er, bzw. seine rückwärtige Verlängerung die Scheitelebene in $\mathfrak{T}'$, die übrigen erwähnten Ebenen in $\mathfrak{N}'$ und O' durchdringen, so daß $M\mathfrak{E}OO'$ die Einfallsebene, $MO'O$ die Nebenachse vorstellt, d. h. die Kante, in der die Meridian- und Einfallsebene einander schneiden. Wir bezeichnen die Ordinaten

des Punktes $\mathfrak{E}$ durch $\bar{\eta}$ und $\bar{\delta} = E\mathfrak{E}$,
„ „ $\mathfrak{T}$ „ η „ $\zeta = T\mathfrak{T}$,
„ „ $\mathfrak{T}'$ „ η' „ $\zeta' = T'\mathfrak{T}'$,
„ „ $\mathfrak{N}$ „ $\mathfrak{y}$ „ $\delta = N\mathfrak{N}$,
„ „ $\mathfrak{N}'$ „ $\mathfrak{y}'$ „ $\delta' = N'\mathfrak{N}'$,

ferner den Winkel, den die Projektion des Strahles mit der optischen Achse bildet, durch α bzw. α' (Fig. 6), den Neigungswinkel des Strahles gegen den Meridianschnitt durch $o = EO\mathfrak{E}$, bzw. $o' = EO'\mathfrak{E}$; den Kugelwinkel zwischen Einfallslot und Achse durch $\vartheta = SM\mathfrak{E}$, und den Winkel zwischen dem Strahle und der geraden Linie vom Kugelzentrum nach den beiden Strahlenschnittpunkten $\mathfrak{N}$ und $\mathfrak{N}'$ durch $\lambda = \mathfrak{E}\mathfrak{N}M$, bzw. $\lambda' = \mathfrak{E}\mathfrak{N}'M$. Zur leichteren Orientierung sind die Projektionen dieser Winkel, ϑ_0, λ_0, λ_0', und die des Einfallslotes eingeschrieben.

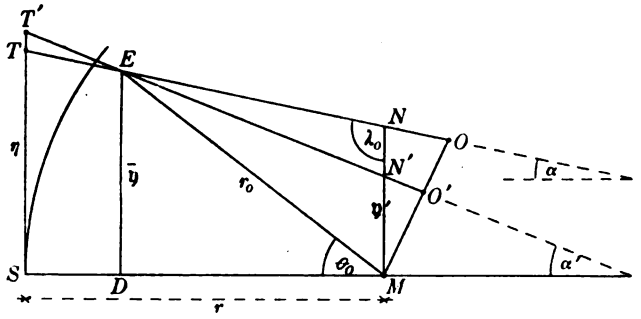


Fig. 6.

Dann ist nach der Figur die Invariante $\bar{\eta}$ bestimmt durch $\bar{\eta} = \eta - SD \cdot \mathrm{tg}\,\alpha = \eta' - SD \cdot \mathrm{tg}\,\alpha'$, oder, wegen $SD = r(1 - \cos\vartheta)$, durch

I. $$\bar{\eta} = \eta - r(1 - \cos\vartheta)\,\mathrm{tg}\,\alpha = \eta' - r(1 - \cos\vartheta)\,\mathrm{tg}\,\alpha'.$$

Das ist die erste der vier Gaußschen Gleichungen, aus denen Seidel die Abweichungen dritter Ordnung abgeleitet hat.

Ferner folgt aus der Figur für die Invariante $\bar{\delta} = E\mathfrak{E}$ die Beziehung

$$\bar{\delta} = T\mathfrak{T} - TE \cdot \mathrm{tg}\,TO\mathfrak{T} = T'\mathfrak{T}' - T'E \cdot \mathrm{tg}\,T'O\mathfrak{T}' = \zeta - \frac{SD}{\cos\alpha} \cdot \mathrm{tg}\,o = \zeta' - \frac{SD}{\cos\alpha'} \cdot \mathrm{tg}\,o'$$

$$= \zeta - \frac{r(1 - \cos\vartheta)}{\cos\alpha} \cdot \mathrm{tg}\,o = \zeta' - \frac{r(1 - \cos\vartheta)}{\cos\alpha'} \cdot \mathrm{tg}\,o'.$$

Setzt man noch in dieser Gleichung $\mathrm{tg}\,o : \cos\alpha = \mathrm{tg}\,\beta$ und $\mathrm{tg}\,o' : \cos\alpha' = \mathrm{tg}\,\beta'$ (worin die Winkel β und β' ihrer geometrischen Bedeutung nach die Winkel sind, die die Projektion des Strahles in die Ebene der x, z vor und nach der Brechung mit der optischen Achse bilden), so erhält man die zweite Gaußsche Gleichung, nämlich

II. $$\bar{\delta} = \zeta - r(1 - \cos\vartheta)\,\mathrm{tg}\,\beta = \zeta' - r(1 - \cos\vartheta)\,\mathrm{tg}\,\beta'.$$

Die beiden letzten ergeben sich aus der Betrachtung der (durch die Strahlen und das Einfallslot gelegten) Einfallsebene $M\mathfrak{E}\mathfrak{N}\mathfrak{N}'$. In dieser ist nach der Figur

$$r = \frac{\sin\lambda}{\sin i} M\mathfrak{N} = \frac{\sin\lambda'}{\sin i'} M\mathfrak{N}',$$

wenn i und i' die beiden Brechungswinkel sind, also

$$\frac{M\mathfrak{N}}{M\mathfrak{N}'} = \frac{\sin i}{\sin i'} \frac{\sin\lambda'}{\sin\lambda} = \frac{n'}{n} \frac{\sin\lambda'}{\sin\lambda}.$$

Daraus ergibt sich ohne weiteres

$$\frac{\mathfrak{y}}{\mathfrak{y}'} = \frac{\mathfrak{z}}{\mathfrak{z}'} = \frac{M\mathfrak{N}}{M\mathfrak{N}'} = \frac{n'}{n}\,\frac{\sin\lambda'}{\sin\lambda}. \qquad 21)$$

Nach der Figur ist aber auch

$$\frac{\mathfrak{y}}{\mathfrak{y}'} = \frac{\eta - r\,\mathrm{tg}\,\alpha}{\eta' - r\,\mathrm{tg}\,\alpha'}, \qquad 22$$

und es ergibt sich daraus schließlich, nach Komparation der beiden Werte von $\mathfrak{y}$: die dritte der Gaußschen Gleichungen

III. $$n(\eta - r\,\mathrm{tg}\,\alpha)\sin\lambda = n'(\eta' - r\,\mathrm{tg}\,\alpha')\sin\lambda'.$$

Endlich ist nach obiger Figur

$$N\mathfrak{N} = T\mathfrak{T} - NT\cdot\mathrm{tg}\,TO\mathfrak{T}, \quad N'\mathfrak{N}' = T'\mathfrak{T}' - N'T'\cdot\mathrm{tg}\,T'O\mathfrak{T}',$$

d. i.

$$\mathfrak{z} = \zeta - \frac{r}{\cos\alpha}\,\mathrm{tg}\,\alpha = \zeta - r\,\mathrm{tg}\,\beta, \qquad \mathfrak{z}' = \zeta' - r\cdot\mathrm{tg}\,\beta', \qquad \frac{\mathfrak{z}}{\mathfrak{z}'} = \frac{\zeta - r\,\mathrm{tg}\,\beta}{\zeta' - r\,\mathrm{tg}\,\beta'}$$

folglich mit Berücksichtigung von Gl. 21),

IV. $$n(\zeta - r\,\mathrm{tg}\,\beta)\sin\lambda = n'(\zeta' - r\,\mathrm{tg}\,\beta')\sin\lambda'.$$

Nachträglich sei bemerkt, daß Gauß statt η, η'; ζ, ζ'; $\mathrm{tg}\,\beta$, β' b, b'; c, c'; $-\frac{\beta}{n}$, $-\frac{\beta'}{n'}$; $-\frac{\gamma}{n}$, $-\frac{\gamma'}{n'}$ geschrieben hat.

(Forsetzung folgt.)

Untersuchung über die Feinbewegung an einigen Mikroskopen.

Von

Hans Boas in Berlin.

Im Jahre 1898 trat Zeiss mit einer neuen Art Feinbewegung für Mikroskope an die Öffentlichkeit. Diese Feinbewegung, von Berger konstruiert, hatte den Vorteil, daß die bei der seitherigen Bauart in die Stativsäule verlegte Führung dicht an das Sehrohr heran verlegt wurde. Die große Entfernung der Schlittenführung vom Sehrohr stellte bei der bis dahin üblichen Bauart übermäßige Ansprüche an das Dichtgehen der Führung auf dem Schlitten, der in Form eines dreikantigen gleichseitigen Prismas ausgeführt wurde. Die Verstellung fand mittels einer Schraube statt. Die Schraube besaß ein Gewinde von 0,5 mm Steigung für jede Umdrehung. Die Übertragung der Schraubenbewegung auf das Führungsstück war im Laufe der Jahre zu einer hohen Vollendung gebracht, so daß in bezug auf die eigentliche Schraubenbewegung Bedürfnisse nach einer Verbesserung nicht mehr vorlagen. War der Kopf der Schraube in 50 Teile geteilt, so entsprach der Abstand von einem Teilstrich zum anderen einer Höhenverschiebung von 0,01 mm. Diese Verschiebung mag in Anbetracht des Umstandes, daß Objektive von hohem Öffnungsverhältnis und sehr vollkommener chromatischer und sphärischer Korrektion zumal bei Benutzung mit starken Okularen eine sehr feine und genaue Einstellung erheischten, zwar etwas grob gewesen sein. Berücksichtigt man aber, daß bei dem üblichen großen Kopf der Schraube die Entfernung von Strich zu Strich ebenfalls groß war, und daß das Führungsstück der geringsten Drehung des Kopfes fast reibungslos mit großer Genauigkeit folgte, so ergab sich als Folge der sachgemäßen Ausführung dieser Bauart eine für das praktische Arbeiten meist genügende Feinheit der Verstellung.

Wurde die Schraube zu Dickenmessungen benutzt, so konnten zwar nur Höhenverstellungen von 0,01 mm unmittelbar abgelesen werden. allein die Schätzung ließ bei dem großen Abstand der Striche voneinander weit genauere Messungen bei einiger Übung dennoch bequem zu. Absolute Fehler der Schraube spielen bei der Feinstellung an Mikroskopen keine irgendwie bedeutende Rolle, denn die Messungen, die mit dem Mikroskop vorgenommen werden, sind fast stets Relativmessungen. Unter diesen nimmt die Bestimmung des Brechungsquotienten an einer planparallelen Schicht oder Platte durch Messung der Einstellungsunterschiede im Vergleich mit einer gleich starken Luftschicht wohl den ersten Platz ein. Diese Messung setzt lediglich Proportionalität zwischen Drehwinkel und Höhenverschiebung voraus, verlangt also nur eine Schraube ohne periodische Gangfehler. Solche Schrauben, die diesem Anspruche genügen, sind, namentlich bei vorhandener langer Mutterführung, ohne jede Schwierigkeit, selbst bei geringsten Hilfsmitteln in maschineller oder werkzeugmäßiger Beziehung auf das leichteste herzustellen.

Aller dieser Umstände und Vorteile, die die Schraube bietet, war sich Berger bei der Ausführung seiner neuen Bauform sicherlich genau bewußt, denn er behielt bei seiner neuen Bauart die bewährte Schraube wohlweislich bei. Er erhöhte lediglich die Einstellgenauigkeit durch Einführung einer querliegenden Spindel mit endloser Schraube und durch Einordnung eines Schraubenrades. Sind diese beiden Organe fehlerfrei hergestellt, so arbeitet die neue Einstellung ebenso zuverlässig wie die alte Einrichtung.

Merkwürdigerweise haben andere Werkstätten von der Bergerschen Bauart nur die Verlegung der Schlittenführung übernommen; die Feinstellung selbst aber durch andere Hilfsmittel ersetzt. Was von den Werkstätten damit erreicht worden ist, soll in der Folge durch Messungsreihen an zwei großen modernen Instrumenten gezeigt werden. Das eine, in der Folge stets mit „I“ bezeichnete, entstammt einer Berliner Spezialwerkstatt, das andere, mit II bezeichnete, einer großen westdeutschen Firma. Beide Mikroskope sind die neuesten und vollkommensten Stative der betreffenden Firmen, kurz vor Kriegsbeginn hergestellt.

Außer diesen beiden eben genannten Instrumenten besitze ich schon seit vielen Jahren ein Mikroskop mit Prismaführung in der Säule und der üblichen Schraube. Mit diesem Instrumente hatte ich die Bestimmung des Brechungsquotienten nach der oben erwähnten Methode des Herzogs von Chaulnes wohl hunderte Male ausgeführt und damit immer zufriedenstellende Werte erhalten. Zufällig bot sich mir vor einiger Zeit Veranlassung, eine solche Bestimmung einmal wieder auszuführen und ich nahm dazu das Mikroskop I. Die querliegende Spindel seiner Mikrometerschraube besitzt eine Trommel, die in 100 Teile geteilt ist. Ein Teilstrich soll einer Höhenverschiebung von 0,001 mm entsprechen. Die unmittelbar damit erreichbare Ablesegenauigheit würde also 10mal größer sein als bei meinem alten Instrumente. Zu einem orientierenden Vorversuch benutzte ich nicht gleich die zu messende Flüssigkeit, sondern Wasser. Die Messung ergab einen erheblich zu kleinen Wert für den Brechungsexponenten. Wiederholungen der Messung ergaben Werte, die voneinander abwichen, aber immer viel zu klein waren. Als Objektiv war für die Messung ein Zeiss-Apochromat von 8 mm Brennweite in Verbindung mit starkem Kompensationsokular verwendet worden.

Den erhaltenen Resultaten stand ich zunächst vollkommen ratlos gegenüber. Endlich glaubte ich, der Fehler sei durch die hohe Apertur (0,65) des verwendeten Objektives entstanden. Da die übliche Formel zur Berechnung des Brechungs-

exponenten aus der Differenz der Höhenverschiebung nur eine Näherungsformel ist und eigentlich nur für paralleles Licht strenge gilt, weil bei ihrer Ableitung der Sinus mit dem Tangens gleichgesetzt ist, so leitete ich die korrekte Gleichung ab, die dem Öffnungswinkel Rechnung trägt. Diese Formel erhält dann ein Korrektionsglied, aber bei ihrer Diskussion findet man, daß diese Korrektion sich nur in einer Änderung der sphärischen Abweichung des Objektives zeigen kann. Solange aber der Korrektionszustand befriedigend ist und solange keine störende Verschleierung des Bildes eintritt, solange kann man auch das Korrektionsglied in der Gleichung vernachlässigen. Außerdem hat man es auch in der Hand, mittels des Beleuchtungsapparates die Öffnung des beleuchtenden Bündels nach Belieben zu verkleinern.

An der Öffnung des Objektives lag also der Fehler nicht.

Ich nahm nun das Mikroskop II. Mit diesem erhielt ich nun zwar etwas bessere, aber merkwürdigerweise zu hohe Werte. Nun nahm ich endlich mein altes Instrument. Ich benutzte dasselbe Objektiv und erhielt hiermit, wie gewohnt, den richtigen Wert. Jetzt wiederholte ich die Messungen mit den Instrumenten I und II bei verschiedener Höhenlage der Feinstellung und erhielt nun stets stark voneinander abweichende Werte, die bald zu groß, bald zu klein willkürlich erzeugt werden konnten. Durch diesen Kontrollversuch war der Beweis geliefert, daß der Fehler allein an der Meßvorrichtung der Feinstellung dieser Instrumente liegen konnte. Das bewog mich nun dazu, systematisch die Gangfehler der Feinstellung an einem bestimmten Meßobjekt festzustellen. Ein doppelseitig versilbertes Deckglas, in dessen Oberfläche und Unterseite sich kreuzende Linien eingeritzt waren, diente als Meßobjekt. Um bei der Ausführung der Messungen nicht durch Änderungen der sphärischen Korrektion behelligt zu werden, wurden die Messungen an I mit einem Winkelschen Fluoritsystem für homogene Immersion von 1,8 mm Brennweite, an II mit einem Zeissschen Apochromaten von 1,5 mm Brennweite mit dem starken Kompensationsokular 8 ausgeführt. Um die Einstellungsparallaxe durch Akkomodationsveränderung des Auges zu vermeiden, wurde ein Okularmikrometer eingelegt. Die Messungen wurden dann ohne Aufenthalt von 10 zu 10 Teilstrichen fortlaufend so ausgeführt, daß jedesmal die zur Einstellung des oberen und des unteren Bildes nötige Anzahl der Intervalle bestimmt wurde. Das Ergebnis dieser Messungen ist für das Mikroskop I im Schaubild 1 dargestellt.

Da die Soll-Länge der Teilung 100 Mikron für jede Umdrehung der Trommel entspricht, so ergeben die Linienzüge unmittelbar die Fehler, weil auch die Höhenabweichungen, wie sie gefunden wurden, in demselben Maßstab aufgetragen sind.

Ehe des weiteren auf die gefundenen und im Bilde dargestellten Meßwerte eingegangen wird, soll eine Beschreibung der Bauart der Feinstellbewegung gegeben werden, da diese Beschreibung zum Verständnis des durch die Linienführung Dargestellten notwendig ist.

Wie üblich, liegt unmittelbar am Sehrohr ein Schlitten, der in einem Metallkörper läuft. Dieser Metallkörper nimmt die querliegende Spindel der Grobbewegung auf. Der Metallkörper seinerseits bildet wieder einen Schlitten, der im Stativkörper läuft. Am Stativkörper befindet sich eine zweite querliegende Spindel, die also der Triebspindel parallel liegt. Diese Spindel trägt außen die gekordelten Köpfe und die Meßtrommel, innen eine kegelförmige Verstärkung. Auf diesen Kegel ist ein Gewindegang aufgeschnitten und auf dem Gewindegang rollt ein geschärftes Rad ab. Die Achse dieses Rades sitzt an Lappen, die mit dem obengenannten Metallkörper verschraubt sind. Das Rad kann sich in paralleler Richtung zur Achse der Mikro-

meterspindel verschieben. Wird nun die Mikrometerschraube gedreht, so rollt sich das Rad auf den Gewindegängen des Kegels ab. Der Spitzenwinkel des Kegels ist nun in bezug auf die Steigung des aufgeschnittenen Gewindes so gewählt, daß der Radius des axialen, ebenen Kegelschnittes für einen Umgang des Gewindes sich um 0,1 mm vergrößert bzw. verkleinert. Die Achse der Feinstellschraube dient dabei als unteres Widerlager. Wird die Achse gedreht, so rollt sich das Rad auf dem Kegelmantel ab und nimmt durch Vermittlung ihrer Achse den Schlitten des Sehrohres mit. Die Bewegung hat einen angenehmen, weichen Gang. An sich wäre gegen diese Bauart wenig einzuwenden, wenn sie sachgemäß ausgeführt sein würde. Gegen die Bauart ist einzuwenden, daß ein scharfes Rad als Abrollorgan Verwendung findet. Ein geringer Stoß würde schon genügen, um das Rad, wenn es auch vorerst noch so genau kreisrund gehalten ist, an seiner Peripherie einzubeulen. Dieser Fehler würde sich aufs einfachste dadurch beseitigen lassen, daß das Rad etwas breiter gestaltet, die Oberfläche schwach ballig gehalten würde und eine Anzahl einfacher umlaufender Rillen erhielte, deren gegenseitiger Abstand der Ganghöhe des Gewindes auf dem Kegel entspräche. Dadurch würde die Auflagefläche bedeutend vergrößert und damit wäre einer etwaigen Beschädigung der genauen Kreisform dieses Rades vorgebeugt.

Gegen die Verwendung des Kegels mit aufgeschnittenem Gewinde als Bewegungsmittel ist einzuwenden, daß es sich in maschineller Weise nicht einwandfrei herstellen läßt.

Der moderne Maschinenbau ist bestrebt, nur solche Formen als Konstruktionselemente anzuerkennen, die sich, wenn nötig, auf einer Spezialmaschine, aber jedenfalls von Grund aus maschinell fertig bearbeiten lassen. Denn die gutgebaute Maschine wird stets zuverlässiger arbeiten als selbst der geschickteste Arbeiter. Handelt es sich um drehrunde Teile, so leistet die Naßschleifmaschine Arbeit von einer Genauigkeit, wie sie von keiner Handarbeit erreicht werden kann. Diese Maschine gestattet die Herstellung von Kaliberbolzen und Ringen ohne jede Mühe in ganz einwandfreier Weise. Die bei der Herstellung solcher Meßwerkzeuge erreichbare und erreichte Genauigkeit ist eine sehr viel größere, als die, welche hier in Frage kommt.

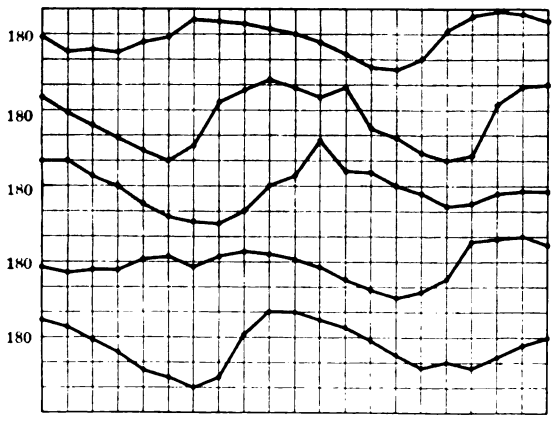


Fig. 1.

Aber die Schleifmaschine gestattet nur die Erzeugung glatter Oberflächen. Wird aber ein Gewinde hergestellt, so muß die Schleifmaschine ausscheiden. Das Gewinde muß mit dem Stahl geschnitten werden, dabei wird es nicht glatt, also muß es von Hand nachpoliert werden. Und was bei diesem Nachpolieren herauskommt, das lehrt besser als alle Worte die Betrachtung der Linienzüge der Figur 1. Man betrachte zunächst die oberen 3 Linienzüge. Fast synchron mit der umlaufenden Drehbank, in die die Spindel zum Nacharbeiten eingespannt war, ist der Druck des Polierinstrumentes des Mechanikers gegangen; anstatt eine Glättung vorzunehmen, hat er stellenweise tiefe Löcher in die Spindel eingearbeitet. Überall da, wo die an den Linienzug gelegte Tangente den Winkel von 45^0 erreicht, wird

entweder Verdoppelung der Bewegung oder Stillstand eintreten. Übersteigt der Winkel der Tangente 45^0, so tritt natürlich entweder Vermehrfachung der Bewegung oder an Stelle des Vorganges sogar Rückgang ein. Im zweiten Linienzuge findet sich eine solche Stelle dreimal. Im dritten Linienzuge einmal, im vierten Linienzuge einmal und im fünften Linienzuge ebenfalls einmal. Es ist klar, daß eine derartig gearbeitete Feinstelleinrichtung selbst zu groben Meßzwecken ganz unbrauchbar ist. Die in 100 Teile geteilte Meßtrommel ist eine gegenstandslose Beigabe, die jeden Gebrauchswertes entbehrt.

In Figur 2 sind die Meßergebnisse des Mikroskopes II dargestellt. Die Bewegungsvorrichtung bei diesem Instrument ist ganz abweichend von der oben beschriebenen gebaut. Sie besitzt eine ebenfalls parallel zur Triebspindel, also quer zur Schlittenbahn des Sehrohres gelagerte Spindel. Die Spindel trägt außen die Triebknöpfe und die 100teilige Meßtrommel. Im Innern trägt sie eine Schraube ohne Ende. Diese Schraube greift in ein aus Vulkanfiber gearbeitetes Schraubenrad mit 30 Zähnen ein. Am Schraubenrad, das sich auf einer Achse dreht, die am Stativ befestigt ist, sitzt eine stählerne Herzkurve von 3 mm Steigung. Jeder der beiden Äste der Herzkurve stellt ein Segment einer Archimedesschen Spirale dar.

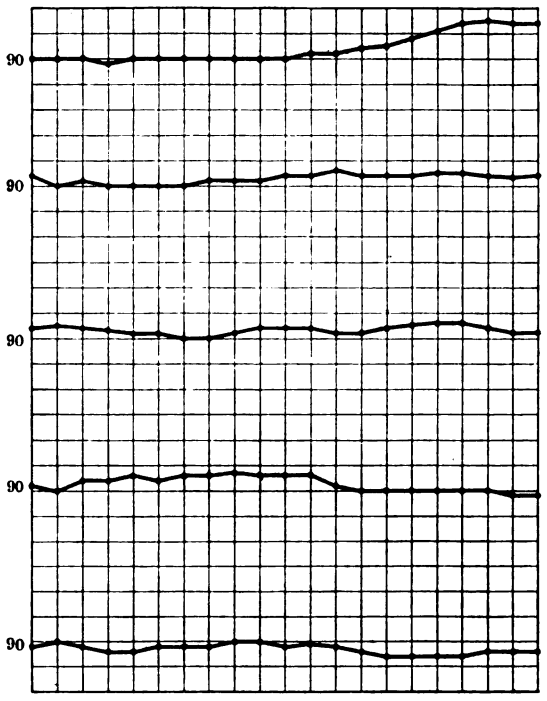


Fig. 2.

Zu gleichen Drehwinkeln gehören also gleiche Zunahmen der Radii vektores. Das ist das Kennzeichen der Archimedesschen Spirale. Die Herzkurve hat für eine halbe Umdrehung eine Steigung von 3 mm. Ein Teilstrich der Trommel entspricht somit einer Hebung oder Senkung des Sehrohrschlittens von 0,002 mm. Auf der Herzkurve rollt sich, ähnlich wie beim Instrument I, eine Rolle ab, die am Schlittenstück sitzt. Die Schraubenspindel kann bei dieser Einrichtung fortlaufend gedreht werden, ohne daß die Feinstellung zur Ruhe kommt. Nach je 15 vollen Umgängen von einer Endstellung ab gerechnet, tritt Stillstand und beim Weiterdrehen in demselben Sinne Umkehr der Bewegungsrichtung ein. Die Meßwerte sind, wie man das auf den ersten Blick auf dem Schaubilde sieht, bedeutend günstiger, als beim Instrument I. Beim Auftragen der Meßwerte ist bereits der größere Vorschub von Teilstrich zu Teilstrich berücksichtigt, so daß die Linienzüge wie beim Schaubild 1 die wahren Abweichungen ergeben. Immerhin genügt die Ausführung der Feinstelleinrichtung natürlich nicht den Ansprüchen, die daran gestellt werden müssen. Denn wenn man beim Messen zufällig auf Knicke kommt, wie sie in allen Linienzügen vorhanden sind, so werden die Resultate stark gefälscht sein.

Da nun die Einstellgenauigkeit des Instrumentes II mittels der Herzkurve mir zu grob war, und die Umkehr überflüssig ist, so habe ich die Herzkurve durch

ein neues Spiralstück ersetzen lassen, das eine Steigung von 3 mm für einen vollen Umgang besitzt. Dieses Spiralrad habe ich auf einer gewöhnlichen Leitspindelbank schneiden lassen, bei der die Zugspindel, die den Quertransport des Supportes besorgt, durch Zahnräder gekuppelt werden kann. Die Spiralfläche ist an das Rad mit einem gewöhnlichen Flachstahl angearbeitet. Nach dem Härten ist das Rädchen nur gerade eben oberflächlich geglättet. Nachdem das Mikroskop mit diesem Schraubenrad versehen war, sind die Linienzüge aufgenommen, die in Figur 3 dargestellt sind. Wie man sofort sieht sind sie bei weitem die günstigsten, vor allen Dingen fehlen die kurzen Knicke wenn auch sonst noch größere Abweichungen vorhanden sind. Wenn es aber schon gelingt, auf so einfachem Wege eine immerhin einigermaßen brauchbare Feinstellung herbeizuführen, so muß es überraschen, daß von Spezialfabriken so wenig den Ansprüchen genügende Feinbewegungen in den Handel gebracht werden.

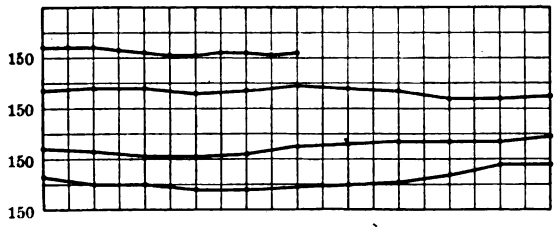


Fig. 3.

Referate.

Beiträge zur Erfindungsgeschichte meteorologischer Instrumente.

Von G. Hellmann, *Abhandl. d. Preuß. Akad. d. Wiss. Phys.-math. Klasse Nr. 1. 1920 Einzelausgabe.*

Das vorliegende Werk behandelt die Erfindungsgeschichte des Thermometers, des Barometers, des Regenmessers und der Windfahne. Unter Abdruck vieler Belegstellen aus alten Schriften wird dargetan, daß, auf den zahlreichen Heronschen Versuchen fußend, das Thermometer in Italien von Galilei und Santorio, in Holland von Drebbel unabhängig voneinander erfunden wurde, daß es aber von Santorio zuerst in die Wissenschaft als Meßinstrument eingeführt wurde. Die Geschichte des Barometers ist eng mit derjenigen des Vakuums verwoben und noch nicht in allen Punkten völlig klar. Torricellis Verdienst steht einwandfrei fest, aber die Meinungen gehen darüber auseinander, ob Pascal der geistige Urheber des ausschlaggebenden Experiments auf dem Puy de Dôme war. Regenmesser scheint es vor Beginn unserer Zeitrechnung schon in Indien und Palästina gegeben zu haben. Der erste europäische Regenmesser wurde um 1660 von Sir Christopher Wren, dem Erbauer der St. Pauls Kathedrale in London, konstruiert. — Der Verfertiger der ersten Windfahne ist unbekannt. Sie ist zweifellos sehr alt. Schwankend war die Benennung der Himmelsrichtungen, der Windrose, worüber eine umfangreiche Literatur vorgelegt wird. Die heute üblichen Bezeichnungen sind auf Befehl Karl des Großen festgelegt worden.

Henning.

Der „Einheitskompaß" von Breithaupt.

Von O. Dreher. *Zeitschr. für Vermess. 50. S. 389. 1921.* Mit Abbildungen.

Es handelt sich um die kleine Geologen-Handbussole, für die auf Grund von Vorschlägen von Geologen in verschiedenen Teilen der Welt nunmehr ein „Einheitsinstrument" von F. W. Breithaupt & Sohn, Cassel, hergestellt wird, das übrigens natürlich in den Hauptteilen übereinstimmt mit der Ausführung, die man in Deutschland von Hildebrand und von Breithaupt längst gewohnt ist: die Bussole selbst statt mit dem früheren, jetzt aber wohl ziemlich rasch vollends überall außer Gebrauch kommenden Stundenring mit Gradring (1°-Striche) versehen, durchlaufend von 0 bis 360° *gegen* den Uhrzeigersinn beziffert, damit man die Streichwinkel von links nach rechts gezählt und eindeutig ablesen kann; die Himmelsrichtungen im Grund der Bussole in E (Ost) und W (West) vertauscht eingeschrieben. Die „Deklinationsausschaltung", Verdrehung der Linie 0°—180° des

Gradrings um die jeweilige magnetische Deklination ist vereinfacht und besser gesichert; das Klinometer mit kleinem Pendel wie bisher. Neu ist im Vergleich mit manchen bisherigen Einrichtungen, daß die Bussole auf eine kleine Zulegeplatte (Grundplatte; mit Dosenlibelle versehen) gesetzt ist, deren rechts (bei „W“) liegende abgeschrägte Ziehkante mit Millimeterteilung versehen ist zum Absetzen von Strecken auf der Karte; der linke Rand der Grundplatte dient zum Aufsetzen bei Neigungsmessungen. Da im feuchten Tropenklima das bisher für Grundplatte und Gehäuse viel gebrauchte Aluminium rasch notleidet, macht Breithaupt beides wieder aus Messing. Der „Einheitskompaß“ wird auch mit aufklappbarem Spiegel (Gelenk bei „S“) und Diopterspalte (bei „N“) geliefert.

Der Gebrauch für geologische Messungen (Streichen und Fallen) und bei kleinen topographischen Aufnahmen (Itinerar) ist bekannt.

Der Ref. möchte bei dieser Gelegenheit den Wunsch aussprechen, daß man bei beiden Anwendungen der Bussole endlich einmal dazu überginge, bei den *Messungen* auf die „rechtweisende“ Ablesung zu verzichten und also das Gehäuse der Bussole gar *nicht verdrehbar* einzurichten. Solange rechtweisende und mißweisende Ablesung *nebeneinander* vorkommt, entstehen beim Fehlen von Notizen darüber, *was* von beiden angewandt ist, beständige, oft höchst lästige Zweifel und Fehler; es wäre besser *grundsätzlich mißweisend abzulesen* und stets den Deklinationsbetrag unzweideutig, dem *Ort* und der *Zeit* der Messung entsprechend (die Angabe über die Zeit der Lesung soll ja ohnehin nie fehlen), auf den Rand von Plan oder Karte und ins Feldbuch zu schreiben. *Hammer.*

Raumwinkel- und Lichtstromkugel nach Teichmüller und neuere Ausführungsformen.

Journ. f. Gasbel. **61.** *S 229. 1918, Zeitschr. f. Beleuchtungsw.* **26.** *S. 13 u. 24. 1920.*

Die Meßvorrichtungen gründen sich darauf, daß ein Oberflächenstück einer Kugel und seine Zentralprojektion auf eine beliebig gelegene Fläche, vom Projektionszentrum, also vom Kugelmittelpunkt aus gesehen, unter dem gleichen räumlichen Winkel O/r^2 erscheinen, wo O der Inhalt des Oberflächenstückes und r der Radius der Kugel ist.

1. Die Raum- und Lichtstromkugel (Fig. 1) besteht aus einer kugelförmigen Glashülle, auf welche eine Teilung mit undurchsichtigen Linien eingraviert ist, und aus einem kleinen, aber möglichst lichtstarken Spiraldrahtlämpchen, dessen Mitte (Lampenmitte, Lichtquellpunkt) mit dem Kugelmittelpunkt zusammenfällt. Die Kugel wird über dem in einem bestimmten Maßstabe gezeichneten Plan der zu beleuchtenden Ebene — beispielsweise eines Platzes — so aufgestellt, daß sich ihre Mitte an derjenigen Stelle befindet, die der wirklichen Anbringungsstelle der zur Beleuchtung zu verwendenden Lampe entspricht. Das Lämpchen wirft die Kugelteilung als Schattenbild auf den Plan, und dieser wird durch die so entstehenden Schattenfiguren von selbst in Teile zerlegt, die je einem bestimmten Raumwinkel zugehören. Diese Schattenbilder zeichnet man auf dem Plane nach.

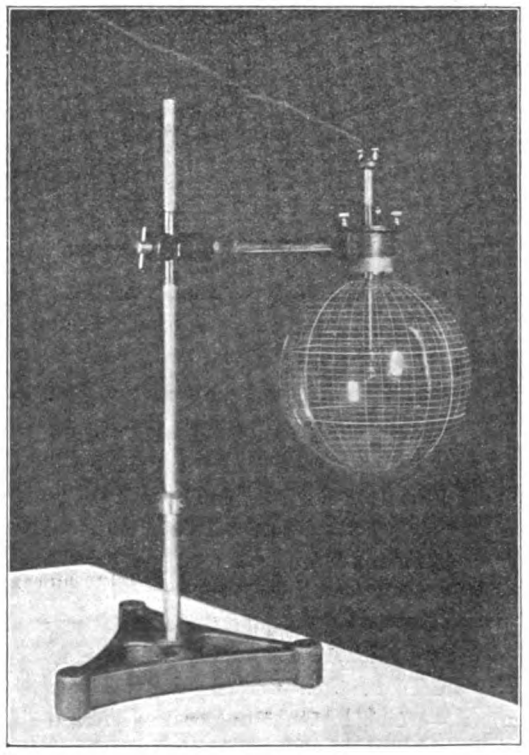


Fig. 1.

Man denke sich nun an Stelle des Spiraldrahtlämpchens im Kugelmittelpunkt eine der Beleuchtungslampe äquivalente punktförmige Lichtquelle, d. h. eine solche Lichtquelle angebracht, welche schon für sehr kleine

endliche Entfernungen dieselbe Lichtstärkenverteilung (Lichtverteilung) besitzt wie die Beleuchtungslampe für hinreichend große Entfernungen. Ist ω der Raumwinkel einer beliebigen auf dem Plane liegenden Schattenfigur, ist ferner I die Lichtstärke der Beleuchtungslampe in Richtung auf die Mitte der Figur, so ist der von der äquivalenten Lichtquelle auf diese Figur ausgestrahlte Lichtstrom gleich $I\omega$. Summiert man über sämtliche auf den Plan geworfene Schattenfiguren, wobei man die am Rande des Planes liegenden, diesen nicht mehr völlig ausfüllenden Figuren in Bruchteilen abschätzt, so ist der gesamte von der äquivalenten Lichtquelle auf den Plan, demnach auch auf den Platz ausgesandte Lichtstrom

$$\Phi = \Sigma I\omega. \qquad 1)$$

Diese Summe ist auch der von der *wirklichen Beleuchtungslampe auf den Platz gestrahlte Gesamtlichtstrom*.

Dividiert man diesen Lichtstrom durch die Größe des Platzes, so erhält man die *mittlere Beleuchtung* des Platzes.

Teichmüller teilt nun die Kugel, nach Ausschluß ihres obersten Teiles, durch welchen das Spiraldrahtlämpchen eingeführt wird, durch 40 um je 9° voneinander entfernte, vom Nadir zum Zenith verlaufende Meridiane und durch 30 Breitenkreise in 1200 gleiche Oberflächenstücke (sphärische Vierecke) von je 0,01 r^2 Größe. Jedes Oberflächenstück überspannt also den 100. Teil der Raumwinkeleinheit. Diese Oberflächenstücke denkt sich Teichmüller noch in je 10 gleiche Teile zerlegt, und die zu diesen kleinsten Teilen gehörigen Raumwinkel bezeichnet er als Raumgrad. Demnach umfaßt die Kugelteilung 30 Zonen (I, II ... XXX) und in jeder Zone 40 Flächenstücke von je 10 Raumgrad. Eine volle Zone nimmt also 400 Raumgrad = 0,4 Raumwinkeleinheiten ein.

Durch das Spiraldrahtlämpchen werden die Zonen als konzentrische Kreisringe (I, II ...), deren gemeinsamer Mittelpunkt senkrecht unterhalb der Lampe liegt, die Meridiane als Radien, welche die Kreisringe in je 40 gleich große Schattenvierecke teilen, auf den Plan projiziert.

Im folgenden wollen wir stets annehmen, daß die Beleuchtungslampen, wie es auch meistens nahezu der Fall ist, eine vertikale Symmetrieachse der Lichtverteilung besitzen. Man erhält dann den Gesamtlichtstrom einfach dadurch, daß man gleich über alle innerhalb des Planes liegenden Schattenfiguren jedes Kreisringes und danach über sämtliche Kreisringe summiert.

Mittels der Kugel läßt sich auch die *Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung*, d. h. das Verhältnis der größten zur kleinsten Beleuchtung auf dem Platze bestimmen. Man denkt sich hierbei die Kugelteilung auch auf den Platz selbst projiziert, so daß auch dieser in Schattenringe geteilt wird, und man nimmt ferner an, daß die wahre Beleuchtung, welche eine Lichtquelle in einem beliebigen Punkte des Platzes erzeugt, nahezu mit der mittleren Beleuchtung desjenigen Ringes, in dem dieser Punkt liegt, übereinstimmt. Um die durch mehrere Lichtquellen erzielte Beleuchtung in einem Punkte zu ermitteln, hat man demnach zunächst mittels der Kugel und des Planes für jede Lampe festzustellen, zu welchem Kreisring der Punkt gehört. Sodann hat man die mittlere Beleuchtung E der einzelnen in Betracht kommenden Kreisringe mittels der Formel

$$E = \Phi_{10}\, F_{10} = \Phi_{40}\, F_{40} \qquad 2)$$

zu bestimmen und die verschiedenen E zu addieren, um die Gesamtbeleuchtung zu erhalten. In der Formel bedeutet für den betreffenden Ring

Φ_{10} bzw. Φ_{40} den Lichtstrom, den ein 10 Raumgrad einnehmendes Schattenviereck des auf dem Plan oder Platz liegenden Ringes bzw. der ganze 400 Raumgrad überspannende Ring empfängt,

F_{10} bzw. F_{40} die Größe des auf dem Platz liegenden Schattenvierecks bzw. des ganzen Ringes.

Durch passendes Suchen findet man bald die Stellen der größten und kleinsten Beleuchtung.

Als Beispiel gibt Teichmüller u. a. die Beleuchtung eines unregelmäßig gestalteten 2951 qm großen Platzes durch zwei je 11 m hoch aufgehängte Lampen an. Die Lichtströme und Beleuchtungsstärken werden — gemäß den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker — für eine 1 m über der Bodenfläche liegende Ebene (Meßebene) berechnet. Es ergab sich der Gesamtlichtstrom zu 17741 Lumen, demnach die mittlere Beleuchtung zu 17741/2951 = 6,01 Lux.

ferner die größte Beleuchtung zu 18,0 Lux, die kleinste zu 0,82 Lux, demnach die Ungleichmäßigkeit zu 18,0/0,82 = 21,9.

Die Kugel wird von der Firma A. Krüss in Hamburg in zwei Größen, zu 20 und 10 cm Durchmesser, hergestellt. Sie hat, wie Teichmüller hervorhebt, neben gewissen Vorzügen auch gewisse Nachteile. Ein Übelstand besteht darin, daß der Kugeldurchmesser für einen gegebenen Maßstab des Planes Aufhängehöhen der Lampen ausschließt, die unterhalb einer bestimmten Grenze liegen. Wenn der Maßstab beispielsweise 1 : 50 beträgt, also schon verhältnismäßig groß ist, ergibt sich diese untere Grenze bei einem Durchmesser von 20 bzw. 10 cm zu 5 bzw. 2,5 m, weil dann die Kugel die Ebene des Papiers gerade berühren würde. Ein weiterer Übelstand ist der, daß die Teilung schwer herzustellen und das Gerät deshalb verhältnismäßig teuer ist.

2. Ferner hat Teichmüller von der Firma Carl Schleicher & Schüll in Düren ein **Raumwinkel- und Lichtstrompapier** herstellen lassen, welches den Gebrauch einer Kugel und eines Lämpchens überflüssig macht. Auf durchsichtiges Papier oder Pausleinewand sind für einen Quadranten die Schattenstriche der Kugelteilung abgebildet, wie man sie erhält, wenn sich das Papier 4 cm unterhalb der Kugelmitte befindet. Das Papier wird über den Plan gelegt, und die Raumwinkel werden gerade so wie bei der Kugel abgezählt und abgeschätzt. Dieses Verfahren ist bequemer und genauer, aber es hat den Nachteil, daß man für verschiedene Aufhängehöhen den Plan in verschiedenem Maßstabe, z. B. für $h = 4$ bzw. 8 m im Maßstabe 1 : 100 bzw. 1 : 200 zeichnen muß.

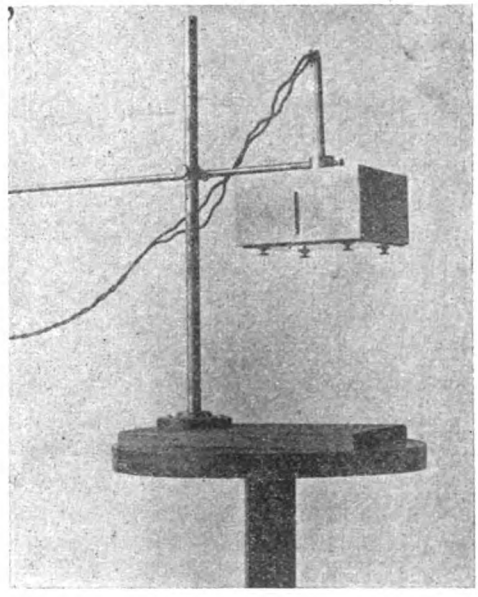


Fig. 2.

3. Von diesen Übelständen ist das in Fig 2 dargestellte Gerät frei, das Teichmüller als **eckige „Kugel"** bezeichnet. Das Gerät besteht aus einem in der Höhe verstellbaren Kasten, der in seiner vertikalen Achse das Spiraldraht-Glühlämpchen enthält, und aus einer mit einer Teilung versehenen Glasplatte, die gegen die rechteckige Öffnung der unteren Kastenwand gelegt wird. Der Abstand zwischen der Glasplatte und dem Leuchtpunkt beträgt für gewöhnlich 2 cm; für diesen Abstand ist die Größe der Glasplattenteilung gewählt. Man kann diesen Abstand aber auch größer als 2 cm nehmen. Wenn man, bei feststehendem Lämpchen, die Platte auf den n-fachen Abstand, d. h. auf $2n$ cm bringt, so ist, wie sich leicht zeigen läßt, die Wirkung der Verschiebung dieselbe, als wenn die Aufhängehöhe auf den n-fachen Betrag verkleinert würde. Im Gegensatz zur Kugel gestattet dieses Gerät auch sehr kleine Aufhängehöhen zu behandeln.

Es sind zwei verschiedene Glasplattenteilungen vorgesehen. Diese werden als Diapositive von in vergrößertem Maßstabe entworfenen Zeichnungen hergestellt.

a) Als Teilung der ersten Art (Fig. 3) dient wieder die Zentralprojektion der Kugelteilung auf eine wagerechte Ebene, und zwar — wie schon erwähnt — auf eine 2 cm unterhalb der Kugelmitte gelegene Ebene. Auf der Glasplatte sind, um Rechnungen und Tabellen möglichst zu vermeiden, außer dem System von Kreisen und Radien noch folgende vier mit Φ_{10}, Φ_{40}, $F_{h=4\,\mathrm{m}}$, $E_{h=4\,\mathrm{m}}$ bezeichnete Zahlenreihen angebracht, welche sich auf die zu benutzende Lampenart beziehen. Diese vier Größen haben dieselbe Bedeutung wie die in Gleichung 2) vorkommenden Größen Φ_{10}, Φ_{40}, F_{10}, E, und zwar gelten die Größen $F_{h=4\,\mathrm{m}}$ und $E_{h=4\,\mathrm{m}}$, wie der hinzugefügte Index andeutet, für eine Aufhängehöhe $h = 4$ m über dem Platze. Für andere Werte h sind die Werte F im Verhältnis $h^2/16$ zu vergrößern, die Werte E in demselben Verhältnisse zu ver-

kleinern. Die Abbildung bezieht sich auf eine direkt tief strahlende Kandemlampe zu 500 Watt, 1090 $HK_{\square}$.

Als Beispiel diene diese Lampe, welche 8 m über dem Platze aufgehängt sei und innerhalb des Kreisringes VIII $n = 33{,}2$ Schattenvierecke des Platzes beleuchte. Für Ring VIII gibt Fig. 3 folgende Werte: $\Phi_{10} = 15{,}40$ Lumen, $\Phi_{40} = 40 \times 15{,}40 = 616$ Lumen, $F_{h=4\,m} = 1{,}13$ qm, mithin $E_{h=4\,m} = 15{,}40/1{,}13 = 13{,}63$ Lux. Demnach fallen innerhalb des Ringes VIII $n \cdot \Phi_{10} = 33{,}2 \times 15{,}40 = 511$ Lumen auf den Platz, und der Ring VIII wird im Mittel mit $13{,}63/4 = 3{,}41$ Lux beleuchtet.

Die Glasplattenteilungen mit den verschiedenen Zahlenreihen lassen sich leicht und billig herstellen. Es empfiehlt sich deshalb einen Satz solcher Teilungen für Lampen mit verschiedener Lichtverteilung herzustellen und diese Teilungen je nach Bedarf gegeneinander auszuwechseln.

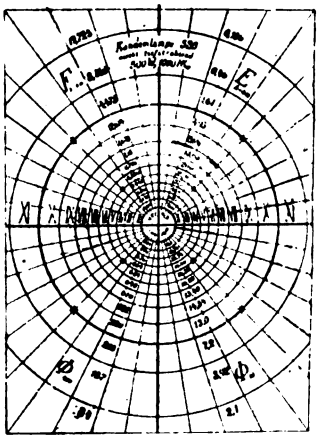


Fig. 3.

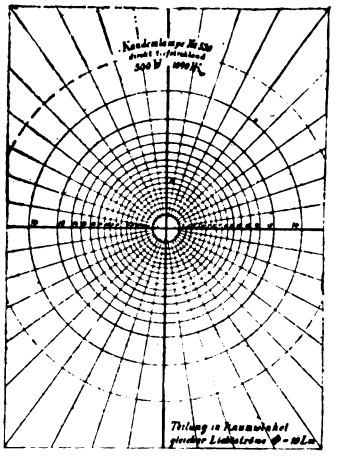


Fig. 4.

b) Teilung der zweiten Art. Bei der bisher besprochenen Teilung umfaßte jede Teilfläche den *gleichen Raumwinkel* von 10 Raumgrad. Neuerdings ist es Teichmüller gelungen, auf den für die eckige „Kugel" bestimmten Platten für jede beliebige Lampenart noch eine zweite Art der Teilung herzustellen, bei der durch jedes Bogenviereck der Teilung der *gleiche Lichtstrom* hindurchgeht. Der Fig. 3 entspricht in diesem Falle Fig. 4, und zwar gehen hier durch jedes Bogenviereck 10 Lumen hindurch. Wenn dann also auf den Plan insgesamt n Bogenvierecke projiziert werden, so ist der auf den Plan und demnach auch auf den Platz auftreffende Gesamtlichtstrom $10n$ Lumen.

Die mit einer solchen Teilung versehene eckige „Kugel" ist demnach ein wirklicher *Lichtstrommesser*, während die vorher beschriebenen Vorrichtungen eigentlich nur als Raumwinkelmesser anzusprechen sind.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, daß sich mittels der Kugel und der anderen Ausführungsformen das Entwerfen von Beleuchtungsanlagen wesentlich erleichtern läßt. *E. Lb.*

Eine neue Art von Widerständen hoher Ohmzahl.

Von F. Skaupy *und* H. Ewest. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **1.** *S. 167. 1920.*

Die Widerstände bestehen aus dünnen, nach einem neuen Verfahren hergestellten Graphitschichten auf einem isolierenden Träger (in der Regel Glas) und sind zum Schutz gegen Widerstandsänderungen in eine Glasglocke eingeschmolzen, die entweder einen Gewindefuß, wie er bei den Glühlampen üblich ist, oder zwei Sockel mit Messerkontakten erhalten. Bei Glimmlampen sind sie auch in die mit der Luft kommunizierende Höhlung des Fußes eingebaut. Zwecks besserer Wärmeableitung werden die Glasglocken mit Wasserstoff gefüllt. Die Widerstände liegen in der Größenordnung von 10^3 bis $10^5\ \Omega$; sie vertragen eine maximale Dauerbelastung von etwa 1 Watt/cm² Graphitfläche. Bei schwachen Belastungen nehmen sie ihren endgültigen Wert

sofort, bei stärkerer in etwa $^1/_4$ Stunde an, doch genügt für die meisten Zwecke eine kürzere Zeit. Nach dem Zurückgehen auf kleinere Belastung zeigt ihr Widerstand keine Änderung. Der Temperaturkoeffizient beträgt für 1° zwischen 20 und 45° — 0,7 bis — 0,8, zwischen 45 und 70° zwischen — 0,6 bis — 0,7 °/₀₀. Störende Übergangswiderstände waren bei kleineren Belastungen nicht zu entdecken; bei Wechselstrom zeigten sie keine Phasenverschiebung. Die Widerstände sollen in folgenden Normaltypen in den Handel kommen: 1, 2 oder 5. 10^3, 10^4 bzw. 10^5 Ω.

Berndt.

Ein absolutes Voltmeter für 250000 Volt Effektivspannung.

Von A. Palm, *Zeitschr. f. techn. Phys. 1. S. 137. 1920.*

Das absolute Elektrometer ist eine doppelte Spannungsstromwage, bei welcher die Isolation durch Stickstoff von 12 Atm. Druck bewirkt wird, der eine Durchschlagsspannung von 240 Kilovolt/cm bei 10 Amp. besitzt. An den Wagebalken AOB (Fig. 1) mit der Drehachse O sind symmetrisch im Abstande a_1 und a_2 2 Spannungsplatten vom Durchmesser d_1 und d_2 befestigt, welche von Schutzringen umgeben werden, die mit ihnen verbunden sind und in einer Ebene liegen. Ihnen gegenüber stehen in den Abständen e_1 und e_2 die festen Spannungsplatten; die Spannungsdifferenzen zwischen den einander entsprechenden Platten seien mit V_1 und V_2 bezeichnet. In

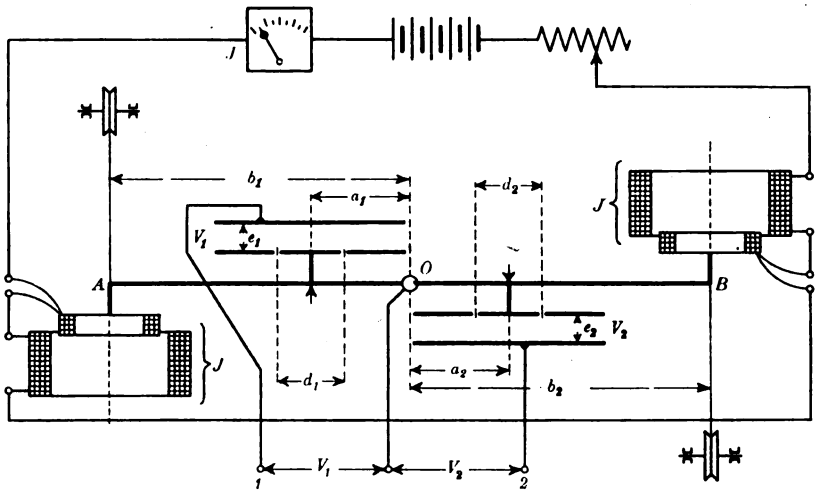


Fig. 1.

den Abständen b_1 und b_2 trägt der Wagebalken die beweglichen (kleinen) Stromspulen, die in die festen (großen) hineingezogen werden; alle vier werden von demselben Strom J durchflossen. Da beim Gleichgewicht V proportional J ist, so kann man das Amperemeter direkt mit einer Voltskala versehen, so daß man den Effektivwert der angelegten Spannung, unabhängig von Frequenz und Kurvenform, direkt ablesen kann.

Bei symmetrischer Ausführung besteht die Beziehung

$$\sqrt{V_1^2 + V_2^2} = \sqrt{2} \cdot C \cdot J,$$

in welcher C eine Instrumentenkonstante ist. Bei der Einzelschaltung (Spannung V an den Klemmen 1 und 0, Klemmen 2 und 0 kurzgeschlossen) ist

$$V = \sqrt{2} \cdot C \cdot J,$$

bei der Parallelschaltung (V an den Klemmen 0 und den miteinander verbundenen Klemmen 1 und 2) ist

$$V = C \cdot J,$$

bei der Serienschaltung ($V' = V_1 + V_2$ an den Klemmen 1 und 2, Klemme 0 geerdet) ist

$$V' = \frac{2}{\sqrt{1 + x^2}} \cdot C \cdot J,$$

wo x die prozentische Abweichung von V_1 bzw. V_2 gegen $V'/2$ ist; es hat sich ergeben, daß auch bei ziemlicher Ungleichheit von V_1 gegen V_2 die Größe $x = 0$ gesetzt werden kann.

Das ganze Instrument ist in ein dickwandiges Bronzegefäß eingebaut (s. Fig. 2); der mittlere Kasten zur Aufnahme der Stromspannungswage ist oben und unten durch kräftige Platten abgeschlossen. Die obere trägt Manometer, Gaseinlaß und einen kleinen Dom mit der Einschauöffnung für die Spiegelablesung, die aus einem am Instrumentenkörper befestigten Spiegel besteht, der genau parallel zu dem beweglichen eingestellt werden kann. Die Stromzuführungen zu den Spulen befinden sich an der unteren Platte, während die Hochspannung durch entsprechende Isolatoren an dem Mittelteil zugeführt wird. Zwischen festen und beweglichen Spulen befindet sich eine Zylinderluftbremse zur Dämpfung der Schwingungen.

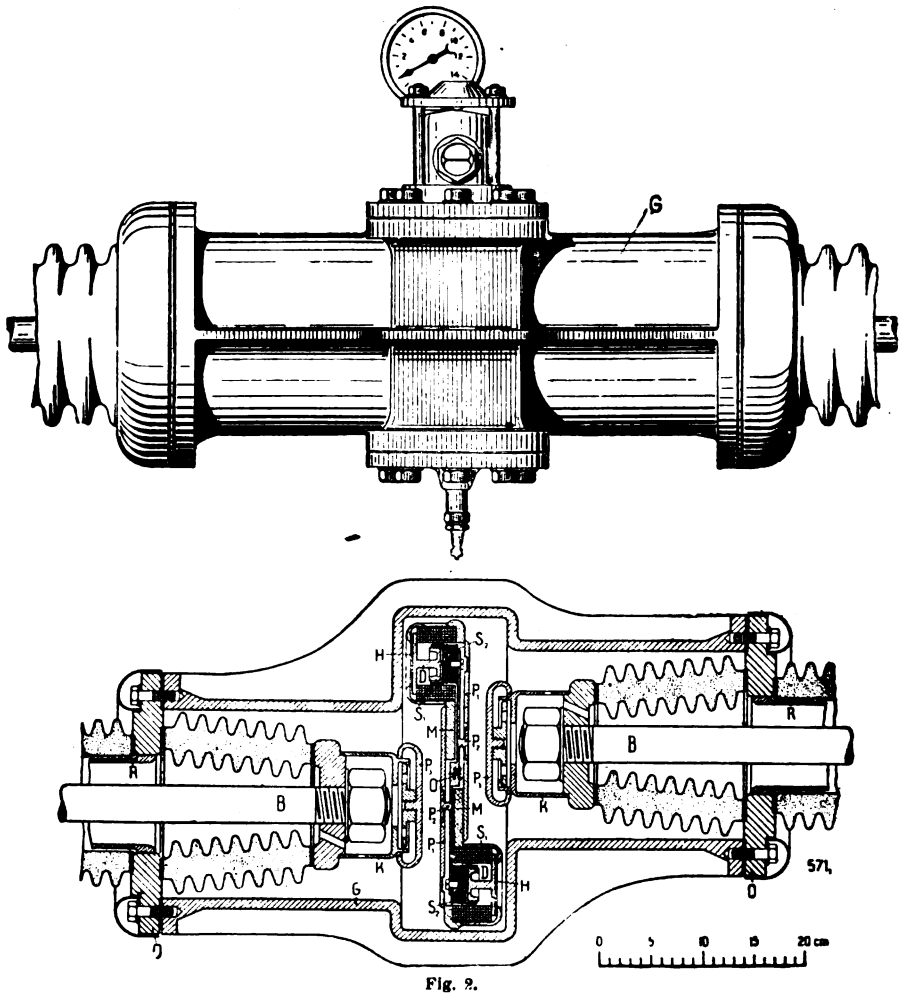


Fig. 2.

Der trotz astatischer Spulenschaltung auftretende Restausschlag wurde dadurch eliminiert, daß die Gewichtseichung in genau derselben Stellung und bei derselben Stromrichtung wie bei den Spannungsmessungen erfolgte. Da der ganze Apparat metallisch eingebaut ist, so sind fremde Felder ohne Einfluß; die Dielektrizitätskonstante ergab sich als unabhängig von dem Betrage der Verschiebung. Temperaturänderungen sind wegen des symmetrischen Aufbaues ohne Einfluß, da auch die Dielektrizitätskonstante des Stickstoffs als unabhängig hiervon angesehen werden kann; ebenso kann die Änderung der Abmessungen durch den Innendruck unberücksichtigt bleiben. Die Ungleichheiten der Abmessungen auf den beiden Seiten des Wagebalkens kann bei sorgfältiger Ausführung gleichfalls vernachlässigt werden. Der Einfluß der Fehler der einzelnen Bestimmungsgrößen wird zu rund $\pm 2\,^0/_{00}$ berechnet. Weiterhin sind die Fehler bei der Bestimmung der Stromstärke, der Gewichtseichung und der Ablesung mit Fernrohr und Spiegel untersucht, die sich gleichfalls als unbedeutend herausstellen. Das Instrument hat sich bei Messungen bis zu 300000 Volt gut bewährt.

Berndt.

Über eine graphische Tafel der Luftdichten.

Von Walter Block. *Zeitschr. f. Techn. Phys. 1. S. 278. 1920.*

Der Verfasser teilt seine in *dieser Zeitschr. 40. S. 205. 1920* veröffentlichten Werte der Luftdichte in Abhängigkeit von Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit in graphischer Form mit. Die Tafeln werden demnächst in vergrößertem Maßstab im Verlag von Joh. Ambr. Barth in Leipzig erscheinen. *G.*

Bücherbesprechungen.

Astronomie (Teil III, Abt. III, Bd. 3 der „Kultur der Gegenwart"); unter Redaktion von J. Hartmann. Bearbeitet von L. Ambronn, Fr. Boll, A. v. Flotow, F. K. Ginzel, K. Graff, P. Guthnick, J. Hartmann, G. v. Hepperger, H. Kobold, S. Oppenheim, E. Pringsheim †. 8°. VIII, 639 S. m. 44 Abbild. im Text und 8 Tafeln. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner 1921. Geh. 36 M., geb. 42 M. Hierzu Teuerungszuschlag 100%, Minderung vorbehalten.

Entsprechend dem Titel des Gesamtwerkes „Die Kultur der Gegenwart, ihre Entwicklung und ihre Ziele", dem der stattliche, zur Besprechung uns vorliegende Band „Astronomie" zugehört, sahen die Verfasser des Werkes ihre Hauptaufgabe darin, die Zusammenhänge der Astronomie mit den anderen Wissenschaften, die Entwicklung der Astronomie in ihrer kulturellen Bedeutung darzulegen. Gleich manchem anderen astronomischen Werk, so beispielsweise der „Populären Astronomie", von Newcomb-Engelmann und den seit 1897 allerdings nicht mehr aufgelegten Littrows „Wundern des Himmels" wird auch das vorliegende Werk sowohl vom Fachastronom wie vom Liebhaber der Astronomie sehr geschätzt werden. Es will kein Lehrbuch im gewöhnlichen Sinne des Wortes sein — von mathematischer Behandlung ist daher auch ganz abgesehen —, es will vielmehr die Forschungsergebnisse zusammenfassen unter Skizzierung der zu ihrer Auffindung angewandten Methoden. Hierbei führt es uns von den ersten Anfängen der Wissenschaft bis auf die höchsten heute erreichten Höhen. Die neuesten Theorien und Hypothesen werden auseinandergesetzt, es werden besonders auch die Punkte hervorgehoben, wo Theorie und Beobachtung noch nicht miteinander in Übereinstimmung gebracht oder wenigstens Zweifel an der richtigen Deutung erlaubt sind.

Im ersten der zwölf Abschnitte, in die das Werk eingeteilt ist, behandelt F. Boll in einer nach Form und Inhalt mustergültigen Weise die Entwicklung des astronomischen Weltbildes im Zusammenhang mit Religion und Philosophie. Wir werden auf die Uranfänge astronomischer Kenntnis hingewiesen und auf die Bedeutung der Fortschritte, wie sie namentlich in den 400 Jahren von Thales bis Hipparch gemacht wurden; auch der Astrologie, die so lange die Geister gefangen hielt, wird die ihr aus diesem Grunde gebührende Beachtung geschenkt. Über die Zeitrechnung, im wesentlichen das Kalenderwesen, berichtet der auf diesem Gebiet die größte Autorität besitzende F. K. Ginzel, wie überhaupt die sämtlichen Bearbeiter der einzelnen Abschnitte in den von ihnen behandelten Gebieten einen wohlbegründeten Ruf genießen. Einige sind den Lesern dieser Zeitschrift längst wohlbekannt.

Nicht nur die Uhrmacher, aber sie besonders wird es — um nur eine Bemerkung aus dem von G. Hartmann geschriebenen Abschnitt über Zeitmessung herauszugreifen — interessieren, wie schwer es gehalten hat, den 24. Teil des vollen Tages als Stunde einzuführen; Jahrtausende lang hat man die helle Tageszeit und die Nacht in je zwölf Stunden eingeteilt, so daß man zweierlei Stunden von verschiedener Dauer hatte, wobei auch noch das Verhältnis ihrer Dauer sich im Laufe des Jahres änderte. — Zwei Abschnitte, „Die astronomische Ortsbestimmung" und „Die Beziehung der Astronomie zu Kunst und Technik", welch letzterer die Entwicklung der astronomischen Instrumente behandelt, rühren von L. Ambronn her. — Die nächsten Abschnitte „Erweiterung des Raumbegriffes" von A. v. Flotow, „Die mechanische Theorie des Planetensystems" von G. v. Hepperger und „Die physische Erforschung des Planetensystems" von K. Graff machen uns mit der fortschreitenden Erkenntnis bekannt, welche der Mensch hinsichtlich der im Planetensystem vorkommenden Entfernungen und Bewegungen, insbesondere der Ge-

setze der letzteren, gewann. — Hauptsächlich astrophysikalische und photometrische Forschungsergebnisse bringen die Abschnitte „Physik der Sonne“ von E. Pringsheim und „Physik der Fixsterne“ von P. Guthnick. Letztgenannter Abschnitt nimmt einen Raum von nicht weniger als 138 Seiten ein. Allerdings ist auf diesem Forschungsgebiet in den letzten Jahren eine sehr rege, von ganz unerwarteten Erfolgen gekrönte Tätigkeit entfaltet worden. Man erinnere sich nur der lichtelektrischen Meßmethode mit Benutzung von Alkalizellen, welche wohl eine 10mal so genaue Helligkeitsbestimmung erlaubt wie die bisherigen Methoden. — Auch hinsichtlich des Baues des Fixsternsystems, über welchen H. Kobold im 11. Abschnitt spricht, ist man bekanntlich jetzt zu manchem gesicherten Ergebnis gelangt. - Der letzte, 12. Abschnitt „Die Gravitation“ stammt von S. Oppenheim, der in sehr klarer Weise auseinandersetzt, was das Newtonsche Gravitationsgesetz alles geleistet hat und wo es nicht auszureichen scheint Die mannigfachen, für diese Fälle aufgestellten Erklärungsversuche kommen hier zur Besprechung. Die weiteren Versuche, die Gravitation auf Kontaktkräfte zurückzuführen, und in Verbindung damit die Elektronentheorie und die Einsteinsche Relativitätslehre beschließen den hochinteressanten Abschnitt.

Jedem Abschnitt ist ein Literaturverzeichnis beigegeben, in welchem wenigstens die bedeutendsten einschlägigen Arbeiten aufgeführt sind. Auch ein Namen- und ein Sachregister ist vorhanden. *Otto Knopf.*

A. Marcuse, Astronomie und ihre Bedeutung für das praktische Leben. (Aus Natur und Geisteswelt, 378. Bd.) 2. Aufl. 109 S. mit 26 Textfig. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner, 1919. Kart. 2,80 M. (+ Tg.)

Das Buch ist aus Vorträgen entstanden, die der Verfasser im Auftrage des Vereins für volkstümliche Kurse Berliner Hochschullehrer abgehalten hat. Es behandelt in sehr anregender Form die Methoden und Instrumente der geographischen Ortsbestimmung zu Land, zur See und in der Luft, ferner Zeitdienst und Kalenderwesen, die Beziehungen der Astronomie zum Erdmagnetismus, zur Meteorologie, und schließt mit einem Abschnitt über die Fehler der Sinneswahrnehmung. Im Leserkreis unserer Zeitschrift wird somit sein Inhalt größtes Interesse erwecken. *G.*

J. Möller, Nautik. (Aus Natur und Geisteswelt. 255. Bd.) 2. Aufl. 116 S. mit 64 Textfig. und einer Seekarte. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner, 1919. Kart. 2 M. (+ Tg.)

Die neue Auflage des erstmals 1909 erschienenen, klar und gemeinverständlich geschriebenen Buches gibt eine ausgezeichnete Übersicht über die nautischen Instrumente, die Seekarten, sowie die Grundzüge der terrestrischen und astronomischen Nautik Die Fortschritte während des Krieges, namentlich im Bau des Kreiselkompasses und in der Anwendung der Funkentelegraphie haben eingehende Berücksichtigung gefunden. *G.*

R. Börnstein, Sichtbare und unsichtbare Strahlen. (Aus Natur und Geisteswelt. 64. Bd.) 3. Aufl. von E. Regener. 130 S. mit 71 Textfig. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner, 1920. Kart. 2 M. (+ Tg.)

Die Notwendigkeit einer dritten Auflage spricht für das große Interesse, welches das vorliegende Bändchen der Teubnerschen Sammlung gefunden hat. Es ist auch besonders geeignet, einen Einblick in die innere Verwandtschaft aller physikalischen Erscheinungen zu geben, soweit sie auf Strahlung zurückzuführen sind, und ergänzt damit in vollkommener Weise verwandte Veröffentlichungen der Sammlung. *G.*

L. Grebe, Spektroskopie. (Aus Natur und Geisteswelt. 284. Bd.) 2. Aufl. 114 S. mit 63 Textfig. und 2 Doppeltafeln. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner, 1919. Kart. 2 M. (+ Tg.)

Wer sich über das Gebiet der Spektroskopie kurz und doch erschöpfend unterrichten will, dem ist das vorliegende Buch warm zu empfehlen. Der reiche Stoff ist übersichtlich in vier Abschnitte geteilt: Geschichte, Apparate und Methoden, Ergebnisse, Anwendungen. Die Darstellung ist leicht verständlich und doch exakt, sowie auf die neuesten Forschungen ausgedehnt. *G.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

1 3 1922

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

JAN 17 1922
UNIV. OF MICH.
LIBRARY

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
R. Straubel in Jena, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

11. Heft: November.

Inhalt:

Fritz Goos, Über eine Neukonstruktion des registrierenden Mikrophotometers. Mit einer Vorbemerkung von P. P. Koch S. 313. — Dr. Arthur Kerber †, Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel S. 324.

Bücherbesprechungen: Max Born, Die Relativitätstheorie Einsteins S. 333. — R. Greeff, Die Erfindung der Augengläser S. 333. — Alfred Hay, Sehen und Messen S. 333. — Hans B. Willers, Nebenstellentechnik S. 334. — E. Niemann, Funkentelegraphie für Flugzeuge S. 334. — Dr.-Ing. Preuss, Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskops S. 334. — H. Mosler, Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung S. 335. — W. A. Dyes, Internationales Handbuch der Weltwirtschaftschemie S. 335.

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30%	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für alle übrigen Zahlungen Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener Präzisionsmechanischen Werkstätten [6147]

G. KESEL

G. m. b. H.

in Kempten i. Allg.

Gravier-Apparat zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

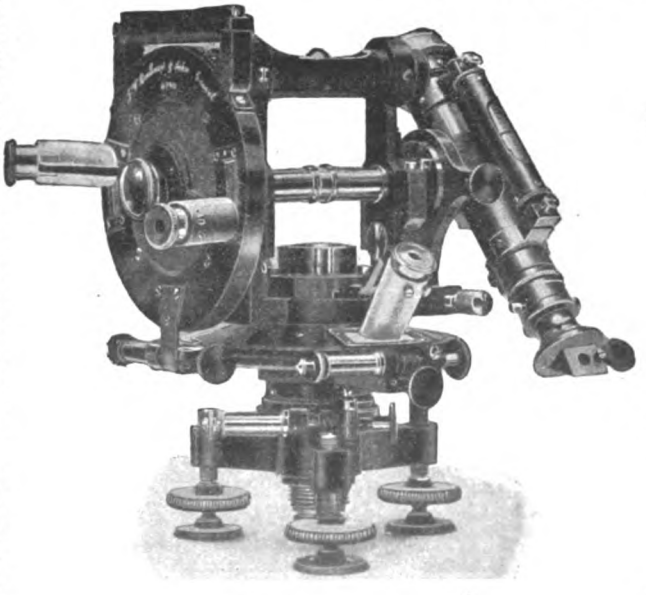
für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

Julius LAACK Söhne,

RATHENOW a. H. [6167]

F. W. Breithaupt & Sohn

Gegründet 1762 **CASSEL**



Reise-Theodolit

Geodätische und astronomische Instrumente

—

Mikroskop-Theodolite

—

Tachymeter

—

Nonien-Theodolite

—

Fein-Nivellierinstrumente

—

Bussolen

[6159]

Kataloge kostenlos

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel.**

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **November 1921.** Elftes Heft.

Über eine Neukonstruktion des registrierenden Mikrophotometers.

Von

Fritz Goos in Hamburg.

Mit einer Vorbemerkung

von

Peter Paul Koch.

Vorbemerkung.

Am Schluß der ersten Veröffentlichung über das registrierende Mikrophotometer (*Ann. d. Phys.* **39.** *S. 749. 1912*) ist darauf hingewiesen worden, daß zwecks Umwandlung des Instruments in einen Präzisionsmeßapparat Verbesserungen nach zwei Richtungen hin erforderlich seien. Einmal mußte die noch vorhandene nicht unbeträchtliche Trägheit (*l. c. S. 724*) der benutzten photoelektrischen Zellen Elster und Geitelscher Form beseitigt werden und ferner war die Konstruktion so umzugestalten, daß das Übersetzungsverhältnis zwischen Fortschub der auszuphotometrierenden und Fortbewegung der die Registrierkurve aufnehmenden Platte während des Registriervorgangs mit möglichster Präzision festlegbar war. Einen Fingerzeig auf die zu erstrebende Genauigkeit — einige zehntausendstel Millimeter am Ort der auszuregistrierenden Platte — gaben die Erfahrungen bei der Ausmessung typischer Spektrallinien, über die in einer kurzen Notiz (*Ann. d. Phys.* **41.** *S. 119. 1913*) berichtet wurde.

a) Trägheit der Photozellen.

Im weiteren Eingehen auf die Trägheitserscheinungen an den benutzten Photozellen gelang es schließlich mittels einer kleinen Abänderung an der ursprünglichen Zellenform nach Elster-Geitel die Trägheit praktisch zu beseitigen: Bei der neuen Zelle bedeckt der mit Kalium überzogene Silberbelag die ganze Innenwand der Glashohlkugel mit Ausnahme einer kleinen Öffnung für den Einlaß des Lichts[1]). Mit dieser Anordnung wird verhindert, daß sich im Innern der Zelle größere nicht versilberte Glasflächen befinden, die unvermeidlicherweise schon bei Zimmertemperatur mit einer dünnen Kaliumhaut bedeckt sind. Dadurch daß letztere beim Belichten eine Ladung erhält, die Belichtungsänderungen nicht augenblicklich folgen kann, entsteht ja nach Elster und Geitel[2]) die Trägheit der Photozellen.

[1]) Die Zellen neuer Form werden von Herrn Glasbläser Salzmann, Hamburg, Durchschnitt 22, angefertigt.

[2]) *Physikal. Zeitschr.* **21.** *S. 362. 1920.*

b) Übersetzungsverhältnis.

Entsprechend den oben geschilderten Erfahrungen bei der Ausregistrierung typischer Spektrallinien mit dem alten Instrument sollte dem neuen Photometer eine Genauigkeit von einem zehntausendstel Millimeter (0,1 μ) bezogen auf die auszuregistrierende Platte gegeben werden. Die Realisierung dieser Genauigkeit sollte durch ein Schraubensystem erfolgen, bestehend aus zwei Schrauben verschiedener Ganghöhe, deren gemeinsame Achse durch einen geeigneten Bewegungsmechanismus angetrieben wurde.

Die Schraube geringerer Ganghöhe sollte für den Fortschub der auszuphotometrierenden Platte sorgen, die stärkere Ganghöhe die Fortbewegung der die Registrierkurve aufnehmenden Platte übernehmen. Dementsprechend ergab das Verhältnis der Steighöhen beider Schrauben das Übersetzungsverhältnis des Registriervorgangs.

Auf Grund des Gesagten wurde im Juli 1914 bei einer ersten Präzisionsfirma mit freundlicher Genehmigung meines damaligen Direktors, Exzellenz Röntgen, für das Physikalische Institut der Universität München eine Doppelschraube nebst zugehörigen Plattentischen bestellt. Daran sollte die Schraube geringerer Steighöhe auf 1 μ genau sein und sich auf 0,1 μ reproduzierbar einstellen. Die Anforderungen an die Schraube größerer Steighöhe waren dem Übersetzungsverhältnis entsprechend geringer.

Infolge der politischen Ereignisse zog sich die Fertigstellung des Schraubensystems in die Länge. Gelegentlich eines Ostfronturlaubs in Berlin erfuhr ich durch befreundete Fachgenossen, daß die Doppelschraube inzwischen fertiggestellt worden und durch Herrn Freundlich käuflich erworben worden war. Weder die mit der Anfertigung beauftragte Firma noch Herr Freundlich hatten dem Münchener Institut oder mir von ihrem Vorgehen Mitteilung gemacht.

Die Doppelschraube wurde von ihrem Erwerber in der Art, die sich aus ihrer ganzen Anlage zwangläufig ergab, zu einem Registrierphotometer ergänzt und befindet sich jetzt in Benutzung im Astrophysikalischen Observatorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam.

Bei der Unmöglichkeit angesichts des gesunkenen Geldwerts aus verfügbaren Institutsmitteln eine Neubestellung der Doppelschraube vorzunehmen, mußte der schon früher öfters ventilierte Gedanke erneut ins Auge gefaßt werden, das geplante Präzisionsmeßinstrument unter Verzicht auf Schrauben als Träger der Genauigkeit durchzuführen. Bei der Besprechung von zu diesem Behuf etwa in Betracht kommenden Konstruktionsmöglichkeiten hatte Herr Goos den glücklichen Gedanken, der von ihm selbst bis zum erstrebten Ziel und sogar darüber hinaus durchgeführt wurde, wie es im folgenden durch Herrn Goos geschildert ist.

§ 1. Die Idee und die schematische Anordnung des Apparates.

Beim Registrierphotometer muß die Bewegung der zu photometrierenden Platte eindeutig auf eine zweite Platte — die Registrierplatte — übertragen werden, auf der die Schwärzungskurve registriert werden soll. Hierzu wurde das Prinzip des Lichtzeigers benutzt.

Der verschiebbare Mikroskoptisch mit der zu photometrierenden Platte ist direkt mit einem Hebel gekoppelt, an dessen Drehachse ein Spiegel angebracht ist, der seinerseits sich optisch zwischen dem Elektrometerfaden und dessen Bilde auf der festen Registrierplatte befindet. Um die Eindeutigkeit der Übertragung zu

sichern, braucht nur der Kontakt zwischen Hebel und Mikroskoptisch und die Lagerung der Drehachse des Hebels einwandfrei zu sein. Beides ist technisch ohne Schwierigkeiten zu erreichen und damit ist die Eignung des Instruments als Präzisions-Längenmeßapparat gesichert.

Die Art, wie der Mikroskoptisch bewegt wird, ob mit Schraube oder sonstwie, ist gleichgültig. Er könnte prinzipiell auch aus freier Hand verschoben werden, ohne daß dadurch die Eindeutigkeit der Einbildung beeinflußt wird.

Das Schema der Anordnung ist nun gemäß Fig. 1 folgendes:

Der in der Pfeilrichtung verschiebbare Mikroskoptisch T mit der zu photometrierenden Platte P drückt direkt gegen den Hebel H, der um die horizontale Achse A drehbar ist und den Spiegel B trägt. Die Platte P wird durch die Lichtquelle L_1 unter Zwischenschaltung einer Kondensorline K_1 und eines Mikroskopobjektivs M_1 beleuchtet; das durch die mehr oder minder starke Schwärzung der Platte geschwächte Licht durchsetzt das Mikroskopobjektiv M_2, den Spalt S_1 und ändert den „Widerstand" der Photozelle Z_1. M_1 ist so fokussiert, daß L_1 (bzw. das durch K_1 erzeugte Bild L_1' von L_1) in der photographischen Schicht der Platte P scharf abgebildet wird; M_2 ist so fokussiert, daß das Plattenkorn (und das Bild der Lichtquelle) auf dem Spalt S_1 scharf abgebildet wird. Dieser blendet also aus der zu photometrierenden Platte kleine Teilflächen von gewünschter Größe aus.

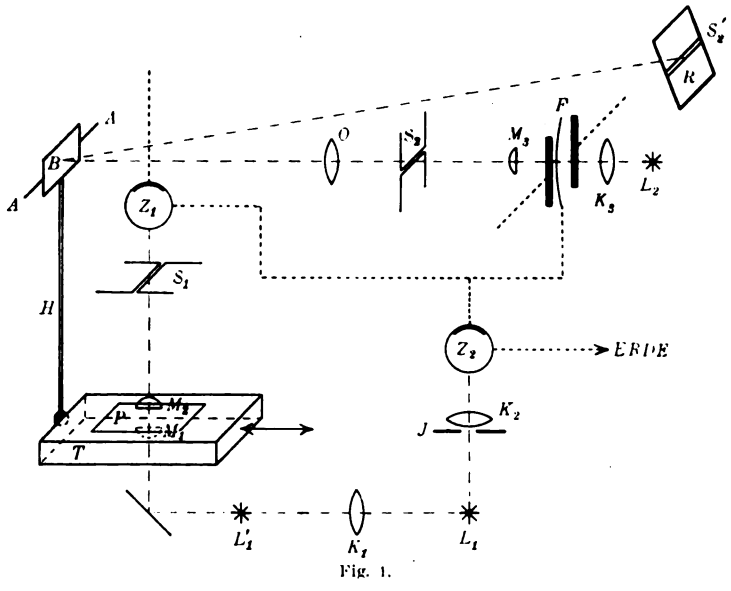


Fig. 1.

Außer diesem eben verfolgten Strahlengang ist noch ein zweiter vorhanden, der wie folgt verläuft: Die Lichtquelle L_2 beleuchtet mittels Kondensorlinse K_3 den Faden F eines Einfaden-Elektrometers, der mittels des Mikroskopobjektivs M_3 auf dem horizontal liegenden Spalt S_2 abgebildet wird, und der aus dem langen Fadenbild ein kleines Fadenelement herausblendet. Dieser Spalt mit dem darin enthaltenen Fadenelement wird seinerseits wieder mittels des Objektivs O, und nachdem das Licht an dem Drehspiegel B reflektiert ist, auf der Registrierplatte R in S_2' scharf abgebildet.

Näheres über die elektrische Schaltung, die unverändert von der ursprünglichen Form des Registrierphotometers übernommen wurde (*Ann.* **39**. 713; 733. *1912*), insbesondere auch über die von der Lichtquelle L_1 unter Zwischenschaltung der Blende J und Kondensorlinse K_2 beleuchtete Kompensationsphotozelle Z_2 findet sich in § 3.

Der Apparat arbeitet nun in folgender Weise: Zieht man die Platte P mit der zu photometrierenden Schwärzung durch Verschieben des Mikroskoptisches T unter dem Mikroskopobjektiv M_2 vorbei, so erfährt der Hebel H und mit ihm der Spiegel B eine Drehung, wodurch das Bild S_2' des Spaltes S_2 mit dem darin enthaltenen Bilde

eines Elektrometerfadenelementes auf der Registrierplatte R auf- oder abwärts bewegt wird; gleichzeitig wird, je nach der Intensität des durch die Platte P hindurchgegangenen Lichtes der „Widerstand“ der Zelle Z_1 kleiner oder größer, also der Elektrometerfaden auf ein mehr oder weniger hohes Potential aufgeladen, so daß dieser zwischen den Elektrometerschneiden und sein Bild in dem Spaltbilde S_2' auf der Registrierplatte R in horizontaler Richtung senkrecht zur vorher besprochenen Bewegung des Spaltbildes S_2' selbst, wandert. Beide Bewegungen des Fadenelementes zusammen zeichnen auf der Registrierplatte eine Kurve auf, die ein Bild des Schwärzungsverlaufs auf der zu photometrierenden Platte ist.

§ 2. Einzelheiten des mechanisch-optischen Aufbaues.

Der Apparat (Fig. 2) ist auf einem sehr schweren ⊢-Träger von 180 cm Länge aufgebaut und in seinen Teilen äußerst massiv und stabil konstruiert. An dem

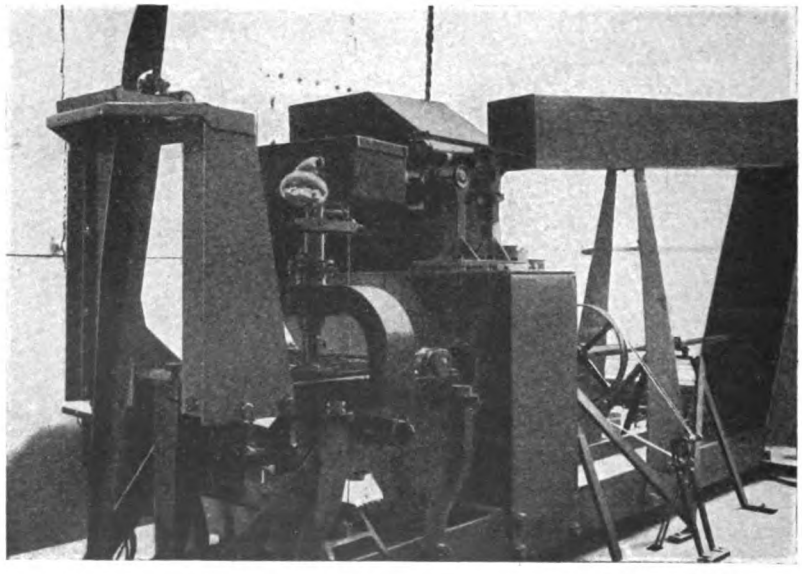


Fig. 2.

einen Ende des Trägers befindet sich der große Mikroskoptisch, dessen Schlitten mittels Schraube durch Elektromotorantrieb bewegt wird, unter Zwischenschaltung eines Schwungrades und von Übersetzungsrädern, die unter sich mit breiten Leinenbändern verbunden sind. Der ganze Antrieb ist frei von dem eigentlichen Apparat aufgestellt, und berührt ihn nur an der Stelle, wo ein Mitnehmerstift an der Transportschraube des Mikroskopschlittens angreift. Die Geschwindigkeit ist meist so einreguliert, daß das Spaltbild S_2' in etwa 10 Minuten die 12 cm lange Registrierplatte durchwandert, kann aber auch noch in weitestem Maße reguliert werden. Auf dem Mikroskoptisch ist parallel zum Hauptschlitten ein Hilfstisch mittels Zahn und Trieb beweglich angebracht, der seinerseits die zu photometrierende Platte trägt und der zum bequemeren Justieren der Platte dient. Mit dem Unterbau des Mikroskoptisches sind starr verbunden der Mikroskopträger einschließlich Beleuchtungssystem und der Träger für die Hebelachse. Diese selbst ist zylindrisch, aus Stahl gearbeitet und ruht in einem prismatischen Lager aus Rotguß in der Art, wie er beim Meridiankreis üblich ist. Die ideale Drehachse des Hebels geht durch die spiegelnde Fläche

des Spiegels B. Der Kontakt zwischen Hebel und Mikroskopschlitten wird durch eine polierte und gehärtete Stahlkugel einerseits und eine plane polierte Achatplatte andererseits hergestellt. Es sind zwei solcher Kontakte auswechselbar vorgesehen, mit der ein ungefähr 8faches bzw. 47faches Übersetzungsverhältnis erreicht wird.

Unter dem Mikroskoptisch seitlich herausgebaut befindet sich ein leichterer kurzer ⊢⊣-Träger, der die Beleuchtungslampe — eine 100kerzige Einfaden-A.E.G.-Nitralampe — nebst Kondensorlinse und total reflektierendem Prisma trägt. Als Mikroskopobjektiv und als Beleuchtungsobjektiv dienen zwei identische Leitz-Objektive von 16 mm Brennweite und 0,30 num. Apertur. Eine Plattenblende[1]) sorgt für Vermeidung des Schwarzschild-Villigerschen Fehlereinflusses. In der Bildebene des Mikroskopobjektives befindet sich ein im Positionswinkel drehbarer Spaltapparat zum Ausblenden beliebig breiter und beliebig hoher Flächestücken aus der zu photometrierenden Platte. Zum optischen Justieren dieser Platte dient ein mittelstarkes Mikroskopokular; nach Entfernen desselben paßt in den Okularstutzen der Rohransatz des die Zelle Z_1 enthaltenden Zellenkastens, der während des Justierens der Platte seinen Platz auf einem Hilfsstativ hat.

In der Mitte des großen ⊢⊣-Trägers ist seitlich ein kräftiges Fundament herausgebaut für das Einfaden-Elektrometer (Konstruktion Lutz-Edelmann) mit Zeiss-Optik, für die Beleuchtungslampe (ebenfalls Nitralampe), für den Spaltapparat S_2 nebst total reflektierendem Prisma und für das Fernrohrobjektiv O von 12 cm Brennweite und 2 cm Öffnung. Der Spalt ist mit Justiervorrichtung versehen, um ihn parallel zur Hebelachse (A) richten zu können; die Spaltbreite ist veränderlich und wird beim Registrieren auf eine Breite von etwa 0,005 mm eingestellt, die dann im Bilde S_2' auf der Registrierplatte auf eine Breite von $^1/_{12}$ mm vergrößert wird. An der einen Seite des Spaltes, unmittelbar vor demselben, ist ein sehr feiner Draht ausgespannt, der auf der Registrierplatte eine helle Linie erzeugt, als 0-Marke für die Auswertung der Photometerausschläge. Der Faden des Elektrometers ist 6 μ dick, er wird vergrößert, erstens durch das Mikroskopobjektiv M_3 und zweitens durch das Objektiv O; auf der Regulierplatte erscheint er schließlich $1^1/_2$ mm dick. Die Elektrometeroptik ist derart lichtstark, daß auf Diapositivplatten registriert werden kann, was in vieler Hinsicht sehr angenehm ist. An dem ebengenannten Unterbau ist auch ein Zellenkasten befestigt, der die Kompensationszelle Z_2 enthält und der mit einem Ansatzrohr versehen ist, das an seinem unteren Ende eine einfache Linse und eine Irisblende trägt. Durch die Linse wird die Photometer-Lichtquelle L_1 auf die Zelle abgebildet.

Am hinteren Ende des großen ⊢⊣-Trägers befindet sich der Aufbau für den Kassettenhalter für die Registrierplatte, mit Justiereinrichtung für die 9×12 cm-Kassette derart, daß die Normale auf der Registrierplatte durch die Mitte des Spiegels B geht. Vom Kassettenende aus kann auch mittels eines langen Steckschlüssels die Transportschraube des Mikroskoptisches betätigt werden.

§ 3. Einzelheiten des elektrischen Aufbaues.

Das elektrische Schaltungsschema ist in Figur 1 als punktierte Linie eingezeichnet. Die Schneiden des Elektrometers sind auf + bzw. — 100 Volt aufgeladen, Der Elektrometerfaden zeigt die Spannung an dem zwischen den Zellen Z_1 und Z_2

[1]) K. Schwarzschild u. W. Villiger, *Astrophys. Journ.* **23**. *S. 284. 1906*; P. P. Koch, *Ann. d. Physik* **30**. *S. 860. 1909*. — Anmerkung bei der Korrektur: Die Plattenblende ist jetzt ersetzt durch einen Vorspalt am Orte L_1' (siehe Fig. 1).

liegenden Leiterstück an. Diese Zellen haben die Seite 313 beschriebene Form, die sich ausgezeichnet bewährt hat, wie in § 4 näher ausgeführt werden wird. Eine dritte Zelle, wie sie bei dem ersten Kochschen Registrierphotometer hinzugefügt war, und dort eine kleine Verringerung der Trägheit bewirkte, erwies sich hierbei als überflüssig.

Die Zelle Z_2 und die gewählte Art der Schaltung der beiden Zellen hat bekanntlich den Zweck, etwaige Inkonstanz der Photometerlampe unschädlich zu machen. Versuche haben ergeben, daß das in hohem Maße der Fall ist. Verringert man z. B., während unter dem Mikroskop eine Platte mittlerer Dichte sich befindet, durch Vorschalten von Widerstand die Helligkeit der Photometerlampe derart, daß ihre Lichtstärke auf $^1/_5$ der ursprünglichen sinkt, so wird dadurch ein Wandern des Elektrometerfadens hervorgerufen, das äquivalent ist einer gewissen Schwärzungsänderung der zu photometrierenden Platte, und, umgerechnet auf die Intensität derjenigen Strahlung, die die Schwärzung auf der zu photometrierenden Platte hervorgebracht hat, einer Intensitätsänderung von 0,4 % entsprechen würde. Also erst die beträchtliche Schwächung der Photometerlampe auf $^1/_5$ ihrer Lichtstärke täuscht einen an der Grenze der Erkennbarkeit liegenden Photometereffekt vor.

Am Kaliumbelag der Zelle Z_1 liegt eine negative Spannung von 200 Volt, die ebenso wie die Spannung für die Elektrometerschneiden einer Batterie kleiner Akkumulatoren entnommen wird. Die Spannung fällt in den Zellen Z_1 und Z_2 im Verhältnis der „Widerstände“ dieser Zellen ab; die mit dem +-Pol der Batterie verbundene Elektrode der Zelle Z_2 liegt an Erde. Die zur Einleitung der Glimmentladung notwendige Spannung betrug bei den beiden benutzten Zellen 230 bzw. 218 Volt. Sämtliche elektrische Leitungen sind unmittelbar an den Batterieklemmen durch Schutzwiderstände (Silit) in der Größenordnung von 10^6 Ohm gesichert. Der Zellenstromkreis von der Zahl Z_1 einschließlich an ist durch geerdete Metallgehäuse elektrostatisch geschützt. Die Leitung zwischen den Zellen Z_1 und Z_2 ist durch Bernsteinisolierungen geführt, sonst über Hartgummiisolationen. Die Zellenkästen sind mit Natriumtrocknung versehen. Die Kapazität des Systems, bestehend aus Zelle Z_1, Zuleitung zum Elektrometer, Elektrometer, Leitung zur Zelle Z_2 und diese Zelle selbst, durch Ladungsteilung mit einem Kondensator bekannter Kapazität verglichen, ergab sich zu 60 cm. Eine unabhängige Bestätigung dieser Zahl erhielt ich durch Trägheitsbeobachtungen, wie in § 4 näher ausgeführt werden wird.

§ 4. Die Prüfung der Photozellen und die photometrische Leistung des Apparates.

Beim Photometrieren geringer bis mittlerer Schwärzungen und bei Ausblendung eines Plattenstücks von $0{,}02 \times 0{,}8$ mm² wird die vor der Ableitungszelle Z_2 befindliche Irisblende zweckmäßig auf etwa 18 mm Öffnung eingestellt. Dann geht, für den Fall, daß das die Zelle Z_1 treffende Licht den Schleier der photographischen Platte passieren muß, ein Strom von 2×10^{-8} Amp. durch die Zellen, und der Elektrometerfaden lädt sich auf 36 Volt auf. Daraus ergibt sich, da an dem Kaliumbelag der Zelle Z_1 eine Spannung von 200 Volt liegt, der Widerstand der Zelle Z_1 zu 8×10^9 Ohm, der der Zelle Z_2 zu 2×10^9 Ohm. Unter diesen Verhältnissen ist die Trägheit der Anordnung sehr gering. Die Zeit, in der der Elektrometerfaden sowohl beim plötzlichen Belichten als auch beim plötzlichen Verdunkeln 99 % seines Weges durchläuft, beträgt der Rechnung und der Beobachtung nach nur Bruchteile

einer Sekunde, der Faden stellt sich fast momentan ein. Es ist also bei den verwandten Zellen neuer Form außer der durch die Zellenwiderstände und der Kapazität bedingten „elektrischen" Trägheit keine nennenswerte spezielle Zellenträgheit mehr vorhanden.

Im Falle, daß entweder sehr kleine Flächenelemente oder daß sehr große Schwärzungen photometriert werden sollen, wobei die Irisblende vor der Ableitungszelle entsprechend zugezogen werden muß, wächst wegen der jetzt größeren Widerstände der Zellen in ersichtlicher Weise die elektrische Trägheit der Anordnung.

Ist nämlich C die Kapazität des Systems, W der Widerstand der Zelle Z_1, so ist für den Fall des plötzlichen Verdunkelns dieser Zelle die Zeit t, in der die Anangsspannung E_A des Elektrometers auf die Spannung E sinkt, gegeben durch die Gleichung:

$$-t = 2{,}30 \cdot C \cdot W \cdot \log \frac{E}{E_A}.$$

Nun ist hierbei aber noch zu bedenken, daß der Widerstand der Photozelle nicht konstant ist, sondern mit abnehmender Spannung steigt. Ist für die Anfangsspannung E_A der Widerstand $W = W_A$, für die Spannung $E = 0$ der Widerstand $W = W_0$, so bekommt die obige Gleichung, unter der Annahme einer linearen Beziehung zwischen E und W die Form:

$$-t = 2{,}30 \cdot C \cdot W_0 \cdot \log \frac{E}{E_A} + C \cdot \Delta W \cdot \left(\frac{E}{E_A} - 1\right),$$

wo

$$W_A - W_0 = \Delta W$$

gesetzt ist.

Die Zeiten sind also proportional den Kapazitäten und man kann durch Veränderung der Versuchsbedingungen, nämlich durch Zuschalten einer bekannten Kapazität zu dem vorhandenen System, die Kapazität des letzteren bestimmen. So ergab sich aus vielen unter sich in guter Übereinstimmung stehenden Werten durch Beobachten der Zeiten t, die verstrichen, bis die Spannung auf bestimmte Werte gesunken war, einmal für das gegebene System, dann für das System plus einer Zusatzkapazität von 44 cm, eine Kapazität des Systems zu $C = 55$ cm, während die direkte Messung (siehe § 3) $C = 60$ cm ergeben hatte.

Die zur weiteren experimentellen Verfolgung der Verdunklungsträgheit angestellten Strom- und Spannungsmessungen ergaben für den Fall, daß die Irisblende vor der Zelle Z_2 bis auf 3 mm zugezogen war, bei einer Elektrometerspannung von $E_A = 140$ Volt, wie sie vorhanden war, wenn an der Zelle Z_1 eine Spannung von 200 Volt lag und diese durch die Schleierschwärzung eines photographischen Plattenstückes von $0{,}02 \times 0{,}8$ mm² Größe belichtet wurde, der Widerstand $W_A = 2{,}92 \times 10^{10}$ Ohm $= 0{,}033$ elektrostatische CGS-Einheiten.

Eine direkte Messung der Änderung des Widerstandes mit der Spannung ergab, unabhängig von der Größe des Widerstandes selbst, ein angenähert lineares Wachsen des Widerstandes auf das $2^1/_2$fache, wenn die Spannung von 140 Volt auf kleine Spannung sinkt.

In der obigen Gleichung ist also zu setzen:

$$C = 58 \text{ cm} \left\{ \begin{array}{l} W_0 = 0{,}083 \text{ elektrostat. CGS-Einh.} \\ \Delta W = 0{,}033 - 0{,}083 = -0{,}050 \text{ elektrostat. CGS-Einh.} \end{array} \right\} E_A = 140 \text{ Volt}.$$

Die folgende Tabelle gibt für verschiedene Werte von E die nach obiger Formel berechneten und die wirklich beobachteten Werte für t in Sekunden.

E Volt	t berechnet Sek.	t beobachtet Sek.
140	0,0	0,0
92	1,0	1,2
51	3,0	4,1
30	5,1	7,4
19	7,1	9,9
10,5	9,8	12,5
3,2	15,4	15,8
1,3	19,7	17,3

Die beobachteten Werte sind Mittel aus 6 Beobachtungsreihen, und zwar wurde das Passieren des wandernden Elektrometerfadens durch bestimmte Marken, die den in der Zahlenreihe unter E angeführten Volt entsprachen auf Zehntelsekunden geschätzt.

Wie man sieht, weichen die beobachteten Werte anfangs in dem einen Sinne, zum Schluß in dem andern Sinne, von den berechneten Werten ab, was aber nicht wundernehmen kann, da ja die zugrunde liegende Formel sicher nur eine erste Annäherung an die komplizierten Vorgänge in der Photozelle darstellt und besonders auch in Anbetracht dessen, daß die Endspannung nicht 0 wird, sondern sich ein kleines positives Potential ausbildet.

Was nun die zeitliche Konstanz des Photometers und die Reproduzierbarkeit der Fadenausschläge anbetrifft, so ist dieselbe nicht ganz vollkommen. Drei Registrierungen ein und derselben Platte in Abständen von je einer Stunde gemacht, zeigten Fadenausschläge, die im Gebiet geringer Schwärzung um 1 bis $2\,^0/_0$ des größtmöglichsten Ausschlages (für unendlich große Schwärzungen) voneinander abwichen, im Gebiet großer Schwärzung aber fast miteinander identisch waren. Die Änderung verläuft ungefähr proportional der Zeit und scheint am besten erklärt werden zu können durch thermische Wirkung der Lichtquelle L_1 auf den Spalt S_1 im Mikroskop, und zwar durch ein Engerwerden des letzteren. Zwischenschalten einer Absorptionsküvette verringerte die Differenzen auf etwa $^1/_3$ der Beträge, aber durch die Abschwächung der Lichtquelle wird auch wieder die elektrische Trägheit vergrößert. Viel besser ist es, bei einzelnen Platten durch „Hin"- und „Zurück"registrieren und bei mehreren Platten a, b, c, die photometrisch aufeinander bezogen werden sollen, durch Doppelregistrierung in der Reihenfolge a, b, c in „Hinregistrierung", dann c, b, a in „Zurückregistrierung", also durch zeitlich streng symmetrisches Arbeiten und durch Mittelung der sich entsprechenden Werte die zeitlichen Änderungen unschädlich zu machen.

Verfährt man so, so weichen die vom zeitlichen Gang befreiten Fadenausschläge nur noch um einige Zehntel mm voneinander ab, und bedenkt man, daß für mittlere Schwärzungen einer Änderung des Fadenausschlags von z. B. 0,3 mm eine Änderung von $0{,}6\,^0/_0$ der Lichtintensität desjenigen Lichtes entspricht, das die Schwärzung erzeugt hat, so erkennt man, daß das Registrierphotometer die photographische Platte nicht nur nicht völlig erschöpft, sondern noch mehr leistet, als diese zu leisten vermag, denn durch Ungleichmäßigkeit in der Schicht kommen selbst bei den besten Platten, bei gleichmäßiger Belichtung der ganzen Platte Schwärzungsdifferenzen vor, die leicht das 5fache des obenerwähnten Fehlers von $0{,}6\,^0/_0$ vortäuschen können, und die nur durch Häufung von Aufnahmen erkannt und eliminiert werden können.

§ 5. Die Leistung des Instruments als Präzisions-Längenmeßapparat.

Das Hauptaugenmerk beim Ausbau des Registrierphotometers habe ich darauf gerichtet, den Apparat zum Längenmeßapparat geeignet zu machen, und zwar zu einem solchen, der infolge seiner Eigenschaft, als objektives Photometer, frei ist von der subjektiven Auffassung des Auges, die jeder kennt, der einmal mit einem gewöhnlichen Meßmikroskop etwa auf das Schwärzungsmaximum oder auf die „Ränder" eines Liniengebildes hat einstellen wollen.

Registriert man, sei es mit der 8-fachen oder mit der 47-fachen Übersetzung, so muß gefordert werden, daß diese Übersetzungsverhältnisse über die ganze Registrierplatte hinweg konstant bleiben, oder doch wenigstens stetig und gesetzmäßig sich ändern, mit einer Gesetzmäßigkeit, die rechnerisch und empirisch ermittelt werden kann, und sich über lange Zeiten unveränderlich erhält.

Bei dem neuen Apparat ist eine völlige Konstanz des Übersetzungsverhältnisses nicht möglich, da die Übertragung auf Hebel und Lichtzeiger und ebener Registrierplatte beruht. Die Gesetzmäßigkeit der Änderung ist aber stetig, leicht zu ermitteln und als Korrektion an die Messungen anzubringen; ihre zeitliche Konstanz ist in der Hauptsache von der Unveränderlichkeit in der Lagerung der Hebelachse abhängig und ich habe sie dadurch zu erhöhen gesucht, daß ich mittels einer mechanischen Vorrichtung durch tagelanges Bewegen der Achse in ihrem Lager, nachdem der Apparat schon fertig aufgestellt und justiert war, die Berührungslinien der Zylinderachse mit den Lagerebenen in kleine Berührungsflächen habe ausarten lassen, und so die Lagerung habe künstlich altern lassen.

Zur Prüfung der erreichten Vollkommenheit wurde ein kleines Drahtliniengitter auf eine Hauff-Extrarapidplatte kopiert und 1) 6mal unabhängig voneinander mit der 8-fachen Übersetzung, 2) 4mal unabhängig voneinander mit der 47-fachen Übersetzung registriert und 3) auch noch 2mal unabhängig voneinander direkt mit Hilfe eines Töpferschen Meßmikroskops mit dem Auge ausgemessen, Die Linien waren gut scharf und symmetrisch. Bei der Registrierung mit der 8fachen Übersetzung wurden 5 Linien des Gitters, die auf der Registrierplatte etwa $^1/_6$ der Plattenlänge einnahmen, an 6 verschiedenen Stellen dieser Platte registriert[1]), um damit nicht nur 6 verschiedene Registrierungen desselben Objektivs zu haben, sondern auch aus ihrer verschiedenen Lage auf der Platte die Gesetzmäßigkeit der Änderung des Übersetzungsverhältnisses ermitteln zu können.

Bei der 47-fachen Übersetzung wurden 6 Linien des Gitters (von denen 5 mit den bei der 8fachen Übersetzung benutzten identisch waren), die jetzt infolge der 6mal größeren Übersetzung die ganze 9×12 Registrierplatte in Anspruch nahmen, 4mal auf 4 verschiedenen Platten registriert[1]) und das variable Übersetzungsverhältnis durch eine besondere Untersuchung, nämlich durch Registrieren eines Intervalls von 2 Gitterlinien an 8 verschiedenen Stellen einer Platte studiert.

Es ergab sich, wie auch die Theorie es verlangt, ein allmähliches Größerwerden des Abbildungsmaßstabes nach den beiden Rändern der Platte zu, was für Linien, die ganz am Rande liegen, Korrektionen von der Größenordnung von 30 μ, oder durch Division mit 8 bzw. 47 auf die zu photometrierende Platte bezogen, Korrektionen von etwa 4 bzw. 0,6 μ erforderlich machen.

---

[1]) Es wurde immer „Hin" und „Zurück" registriert, und diese zwei Registrierungen nur als eine gerechnet.

Die Vermessung der Registrierkurven wurde so vorgenommen, daß mit einem Meßmikroskop mittels Fadenkreuzes längs einer beliebig gewählten photometrischen Ordinate (s. Fig. 3a) — wobei als 0-Abszisse ein „negatives" Bild des Spaltes S_2 dient, erhalten durch kurzes Abblenden der Lampe L_2 zu Anfang der Registrierung — bei der 8-fachen Übersetzung je 2mal, bei der 47-fachen Übersetzung je 1mal in zwei verschiedenen Lagen der Platte die auf- bzw. absteigenden Äste der Kurven eingestellt wurden. Die beiden Lagen der Platten unterscheiden sich dadurch, daß einmal die Linie 3 rechts (s. Fig. 3a), das andere Mal links liegt (s. Fig. 3b), was zur Elimination persönlicher Auffassungsfehler bei der Einstellung der etwas schief durch das Fadenkreuz hindurchgehenden Kurvenäste notwendig ist.

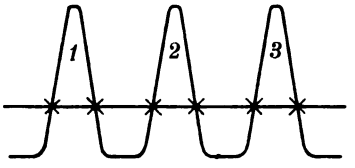


Fig. 3a.

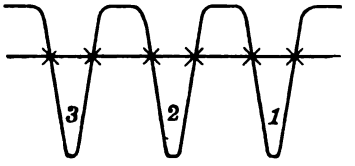


Fig. 3b.

Man wird hier einwenden können, daß durch die Vermessung der Registrierkurven mit Hilfe des Auges etwas Subjektives in den sonst objektiv arbeitenden Apparat hineingetragen wird; wenn man aber bedenkt, daß durch die 8-fache bzw. 47-fache Übersetzung das Bild auf der Originalplatte in eben diesen Verhältnissen vergrößert wird, und daß demzufolge die Meßtechnik auch nur eine ziemlich grobe zu sein braucht, und daß vor allen Dingen es sich um die Einstellung gleichartiger und gleichdicker Kurvenzüge handelt, so wird man leicht einsehen, daß der Einwand der Subjektivität nicht stichhaltig ist.

Die Einstellungen auf die auf- bzw. absteigenden Kurvenäste besagen, daß die Objekte (Gitterlinien) durch ihre linken bzw. rechten „Kanten" definiert wurden, wobei unter Kante eine gedachte Linie zu verstehen ist, die in ihrer Lage von der Art des Schwärzungsabfalles des Objektes abhängig ist, ferner von der Breite des gewählten Spaltes S_1 beim Registrieren und drittens von der Höhe der photometrischen Ordinate, längs der die Einstellungen mit dem Fadenkreuz beim Vermessen der Registrierplatten vorgenommen wurden.

Beim direkten visuellen Ausmessen des Liniengitters mit dem Töpferschen Meßmikroskop wurden demzufolge auch die Linien durch ihre Kanten definiert, indem die Linien zwischen einem Doppelfaden eingestellt wurden. Bei jeder der zwei unabhängigen Messungsreihen wurde jede Linie je viermal in den beiden verschiedenen Lagen der Platte eingestellt, und an die Schraubenablesungen die vorher ermittelten Korrektionen wegen fortschreitender und periodischer Fehler der Meßschraube angebracht, überhaupt wurde diese direkte Vermessung des Strichgitters mit allen Feinheiten einer sorgfältigen Meßtechnik ausgeführt.

Der Vergleich zwischen den Registrierplatten und der direkten Vermessung ergab für die Mitte der Registrierplatten das Übersetzungsverhältnis 1 : 7,7829 bzw. 1 : 46,595 und bei den jetzt folgenden Zahlenangaben sind die Werte der Registrierplatten durch Division mit 7,7829 bzw. 46,595 auf die Größen der Originalplatte umgerechnet worden.

Die mit der 7,78fachen Übersetzung ausgeführten sechs unabhängigen Registrierungen und Vermessungen, durch Anbringung der Korrektion wegen Inkonstanz des

Abbildungsmaßstabes homogen gemacht, ergaben eine durchschnittliche Abweichung der Einzelwerte von den Linienmitteln zu $\pm 0{,}18\,\mu$, woraus sich in guter Näherung der wahrscheinliche Fehler der Lage einer Linie zu $\pm 0{,}17\,\mu$ und für das Mittel aus den sechs Registrierungen zu

$$\frac{\pm 0{,}17}{\sqrt{6}} = \pm 0{,}07\,\mu$$

berechnet.

Bei der mit der 46,6-fachen Übersetzung ausgeführten vier unabhängigen Registrierungen und Vermessungen, dieselben wieder wegen Inkonstanz des Übersetzungsverhältnisses korrigiert, ergab sich die durchschnittliche Abweichung der Einzelwerte von den Linienmitteln zu $\pm 0{,}086\,\mu$, woraus sich in guter Näherung der wahrscheinliche Fehler der Lage einer Linie zu $\pm 0{,}082\,\mu$ und für das Mittel aus den vier Registrierungen zu

$$\frac{\pm 0{,}082}{\sqrt{4}} = \pm 0{,}04\,\mu$$

berechnet.

Die Differenzen zwischen den beiden direkten Vermessungen mit dem Meßmikroskop ergeben für das Mittel aus den je zwei Werten den wahrscheinlichen Fehler der Lage einer Linie zu $\pm 0{,}08\,\mu$.

Die folgende Tabelle gibt nun die Mittelwerte der Linienlagen selbst:

Linie	*A* Registrierung 1 : 7,7829 mm	*B* Registrierung 1 : 46,595 mm	*C* direkte Mikroskopmessung mm
1	0,00000	0,00005	0,00015
2	0,38694	0,38689	0,38683
3	0,80191	0,80181	0,80190
4	1,21739	1,21730	1,21737
5	1,60847	1,60863	1,60850
6		2,01552	2,10547

Die Lagen der Linien sind hier in mm gegeben und für die Reihe *A* ist die Linie 1 auf 0,00000 mm gelegt, während bei Reihe *B* und *C* die Systeme so verschoben sind, daß Linie 1 auf 0,00005 mm bzw. auf 0,00015 mm zu liegen kommt, wodurch erreicht wird, daß die Summen der positiven und negativen Abweichungen zwischen den Reihen *A*—*B*, *A*—*C* und *B*—*C* möglichst gleich werden.

Diese Abweichungen in $^1/_{1000}$ mm $= 1\,\mu$ ausgedrückt, haben folgende Werte:

Linie	*A*—*B* μ	*A*—*C* μ	*B*—*C* μ
1	— 0,05	— 0,15	— 0,10
2	+ 0,05	+ 0,11	+ 0,06
3	+ 0,10	+ 0,01	— 0,09
4	+ 0,08	+ 0,01	— 0,07
5	— 0,16	— 0,03	+ 0,13
6			+ 0,05
durchschnittl. Abweichung	± 0,09	± 0,06	± 0,08

Die oben gegebenen Werte für die wahrscheinlichen Fehler der Lagen einer Linie, abgeleitet aus der inneren Übereinstimmung der verschiedenen Messungsreihen innerhalb jeder der drei Untersuchungsreihen A, B, C werden in bester Weise durch die Differenzbildung $A—B$, $A—C$ und $B—C$ gestützt, die alle im Mittel unter $^1/_{1000}$ mm liegen. Besonders die Werte $A—C$ und $B—C$, bei denen also die aus den Registrierkurven erhaltenen Linienlagen verglichen werden mit den durch direkte visuelle Ausmessung erhaltenen Werte, die also auf prinzipiell vollkommen verschiedenem Wege erlangt wurden, lassen uns ein großes Zutrauen zu der Richtigkeit der Resultate gewinnen.

Schon im Mittel aus wenigen Platten ist es also möglich, die Lage photographisch wohldefinierter, symmetrischer Liniengebilde auf Bromsilberplatte, die in unserem Falle etwa 1 mm lang und 0,08 mm breit waren, durch das vollkommen objektiv arbeitende Registrierphotometer mit einem wahrscheinlichen Fehler von weniger als 0,1 μ anzugeben und es ist aus den Differenzen $A—C$ und $B—C$ zu ersehen, daß in diesem speziellen Fall scharfer, symmetrischer und bestens durch ihre „Kanten“ definierter Linien auch mit einem Meßmikroskop bei feinster Meßtechnik etwa ebensoviel zu erreichen ist. Wenn es sich aber um die Ausmessung etwa unsymmetrischer oder verwaschener Spektrallinien handelt, bei denen z. B. die Lage des Intensitätsmaximums bestimmt werden soll, so kann diese Arbeit mit Erfolg nur vom Registrierphotometer geleistet werden, das Meßmikroskop muß hier vollständig versagen, da das Auge nicht fähig ist, die wahre Lage der dunkelsten Zone einer Linie aufzufassen.

Es fragt sich nun, ob es überhaupt einen Sinn hat, die Lage einer photographischen Linie auf Bruchteile von $^1/_{10000}$ mm anzugeben. Alle oben gegebenen Zahlen sind abgeleitet aus verschiedenen Vermessungen immer ein und desselben Objektes; wenn man nun aber das Liniengitter auf eine andere Stelle der Platte kopiert, wird dann noch die Lage der Linien, ihre Abstände voneinander ebenso sich ergeben? Solche Fragen, die also aufs engste mit der Korngröße und der zufälligen Lagerung der Körner der photographischen Platte verknüpft sind, lassen sich in streng objektiver Weise nur mit Hilfe des Registrierphotometers beantworten, worüber bereits Untersuchungen hier im Gange sind.

Das hier beschriebene Instrument wurde nach meinen Zeichnungen in der Werkstatt des Instituts angefertigt, wobei sich besonders die Herren Schumann und Radder durch ihre sorgfältige feinmechanische Arbeit verdient gemacht haben.

Den weiteren Bau dieses Registrierphotometers hat die Firma A. Krüss, Hamburg 39, Gertigstraße, übernommen.

Hamburg, Physikal. Institut der Universität, 30. April 1921.

Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel.

Von
Dr. **Arthur Kerber** †.

(Fortsetzung von S. 299.)

VIII.

Um die Abweichungen dritter Ordnung zu bestimmen, hat man diese strengen Gleichungen durch solche zu ersetzen, in denen nur die Glieder erster und dritter Ordnung enthalten sind. Bezeichnet man mit Seidel die Größen erster Ordnung,

d. h. die idealen oder fundamentalen (nach der Gaußschen Theorie bestimmten) Näherungswerte der Bestimmungsstücke durch

$$\eta_0,\ \zeta_0,\ \mathrm{tg}\alpha_0,\ \mathrm{tg}\beta_0,\ \eta_0'\ \text{usw.},$$

die Zusatzgrößen dritter Ordnung durch

$$\delta\eta,\ \delta\zeta,\ \delta\mathrm{tg}\alpha,\ \delta\mathrm{tg}\beta,\ \delta\eta'\ \text{usw.};$$

so hat man also in den strengen Gleichungen I bis IV

$$\begin{aligned}&\text{statt } \eta,\ \zeta,\ \mathrm{tg}\alpha,\ \mathrm{tg}\beta \text{ nun } \eta_0+\delta\eta,\ \zeta_0+\delta\zeta,\ \mathrm{tg}\alpha_0+\delta\mathrm{tg}\alpha,\ \mathrm{tg}\beta_0+\delta\mathrm{tg}\beta,\\ &\text{statt } \eta',\ \zeta',\ \mathrm{tg}\alpha',\ \mathrm{tg}\beta' \text{ nun } \eta_0'+\delta\eta',\ \zeta_0'+\delta\zeta',\ \mathrm{tg}\alpha_0'+\delta\mathrm{tg}\alpha',\ \mathrm{tg}\beta_0'+\delta\mathrm{tg}\beta'\end{aligned}$$

zu setzen, und außerdem für $\cos\vartheta$, $\sin\lambda$, $\sin\lambda'$, die sich nur wenig von der Einheit unterscheiden, mit Vernachlässigung der Glieder vierter Ordnung

$$\cos\vartheta = 1-\tfrac{1}{2}\sin^2\vartheta,\quad \sin\lambda = 1-\tfrac{1}{2}\cos^2\lambda,\quad \sin\lambda' = 1-\tfrac{1}{2}\cos^2\lambda'.$$

Diese neuen Gleichungen, die bis auf Größen fünfter Ordnung richtig sind, zerfallen wieder in je zwei andere, weil die Glieder erster Ordnung links und rechts und ebenso die Zusatzgrößen für sich einander gleich sein müssen. Auf diese Weise ergeben sich aus den strengen Gleichungen in Abschnitt VII für die idealen Gaußschen Bestimmungsstücke und ihre Korrektionen die folgenden Beziehungen (der Index 0 ist weggelassen, was auch bei Seidel zum Teil geschehen ist):

$$\left.\begin{aligned}&\eta'=\eta,\quad \zeta'=\zeta,\\ &n'(\eta-r\,\mathrm{tg}\alpha')=n(\eta-r\,\mathrm{tg}\alpha),\\ &n'(\zeta-r\,\mathrm{tg}\beta')=n(\zeta-r\,\mathrm{tg}\beta),\end{aligned}\right\} \qquad 24)$$

und

$$\begin{aligned}&\delta\eta'-\delta\eta=(\mathrm{tg}\alpha'-\mathrm{tg}\alpha)\cdot\underline{\vartheta},\\ &\delta\zeta'-\delta\zeta=(\mathrm{tg}\beta'-\mathrm{tg}\beta)\cdot\underline{\vartheta},\\ &n'\left(\frac{\delta\eta'}{r}-\delta\mathrm{tg}\alpha'\right)-n\left(\frac{\delta\eta}{r}-\delta\mathrm{tg}\alpha\right)=n\left(\frac{\eta}{r}-\mathrm{tg}\alpha\right)\cdot\underline{\lambda},\\ &n'\left(\frac{\delta\zeta'}{r}-\delta\mathrm{tg}\beta'\right)-n\left(\frac{\delta\zeta}{r}-\delta\mathrm{tg}\beta\right)=n\left(\frac{\zeta}{r}-\mathrm{tg}\beta\right)\cdot\underline{\lambda},\end{aligned}$$

wenn man die Abkürzungen einführt

$$\underline{\vartheta}=\tfrac{1}{2}r\sin^2\vartheta,\quad \underline{\lambda}=\tfrac{1}{2}(\cos^2\lambda'-\cos^2\lambda).$$

In den letzten Gleichungen wird man bemerken, daß in den Differenzen auf der linken Seite und in $\mathrm{tg}\alpha'-\mathrm{tg}\alpha$, bzw. $\mathrm{tg}\beta'-\mathrm{tg}\beta$ die Minuenden sich von den Subtrahenden nur durch Akzente unterscheiden. Solche Differenzen pflegt man nach dem Vorgange Abbes kurz als Differenzen mit dem Subtrahendus $\delta\eta$, $\mathrm{tg}\alpha$, $\frac{n\delta\eta}{r}-n\delta\mathrm{tg}\alpha$ usw., oder kurz durch $\Delta(\delta\eta)$, $\Delta(\mathrm{tg}\alpha)$, $\Delta\left(\frac{n\delta\eta}{r}-n\delta\mathrm{tg}\alpha\right)$ usw. zu bezeichnen; man vgl. M. von Rohr, Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten, Berlin 1904, S. 133. Mit diesem Zeichen Δ erhält man schließlich die letzten Gleichungen in der einfachen Gestalt

$$\left.\begin{aligned}&\Delta(\delta\eta)=\Delta(\mathrm{tg}\alpha)\cdot\underline{\vartheta},\\ &\Delta(\delta\zeta)=\Delta(\mathrm{tg}\beta)\cdot\underline{\vartheta},\\ &\Delta\left(\frac{n\delta\eta}{r}-n\delta\mathrm{tg}\alpha\right)=n\left(\frac{\eta}{r}-\mathrm{tg}\alpha\right)\cdot\underline{\lambda},\\ &\Delta\left(\frac{n\delta\zeta}{r}-n\delta\mathrm{tg}\beta\right)=n\left(\frac{\zeta}{r}-\mathrm{tg}\beta\right)\cdot\underline{\lambda}.\end{aligned}\right\} \qquad 25)$$

IX.

Durch die letzten Gleichungen ist der windschiefe Strahl der Seidelschen Dioptrik seiner Lage nach bestimmt, und es lassen sich daher aus ihnen die gesuchten Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung in den Gaußschen Ebenen A, A' und B, B' unmittelbar bestimmen. Bezeichnet man durch $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{C}'$ und $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{D}'$ (senkrecht über C, C' und D, D') die Strahlschnittpunkte in diesen Ebenen vor und nach der c-ten Brechung und die Ordinaten

$$\begin{aligned}
&\text{des Punktes } \mathfrak{C} \text{ durch } y_c + \delta y_c \text{ und } z_c + \delta z_c = C\mathfrak{C},\\
&\quad\text{„}\quad\text{„}\quad \mathfrak{C}'\quad\text{„}\quad y_c' + \delta y_c'\quad\text{„}\quad z_c' + \delta z_c' = C'\mathfrak{C}',\\
&\quad\text{„}\quad\text{„}\quad \mathfrak{D}\quad\text{„}\quad p_c + \delta p_c\quad\text{„}\quad q_c + \delta q_c = D\mathfrak{D},\\
&\quad\text{„}\quad\text{„}\quad \mathfrak{D}'\quad\text{„}\quad p_c' + \delta p_c'\quad\text{„}\quad q_c' + \delta q_c' = D'\mathfrak{D}',
\end{aligned}$$

so ist vor allen Dingen, wie früher schon erwähnt, zu bemerken, daß der ideale Wert der zweiten Ordinate der Punkte $\mathfrak{C}$ und $\mathfrak{C}'$ gleich Null ist, also

$$\text{statt } z_c + \delta z_c,\ z_c' + \delta z_c' \text{ einfach } \delta z_c \text{ und } \delta z_c' \qquad 26)$$

geschrieben werden kann. Denn weil der Meridianschnitt mit der Ebene der x, y zusammenfällt, also der ursprüngliche Objektpunkt in dieser liegt, so schneidet der ideale Lichtweg, von dem man sich den Strahl begleitet denken mag, wie die achsennahen Strahlen, den Meridianschnitt in den Grundebenen A und A', also in den Punkten C und C', nicht außerhalb derselben in O und O'; der fundamentale Wert der zweiten Ordinate ist daher = 0, der wirkliche Wert derselben δz_c bzw. $\delta z_c'$.

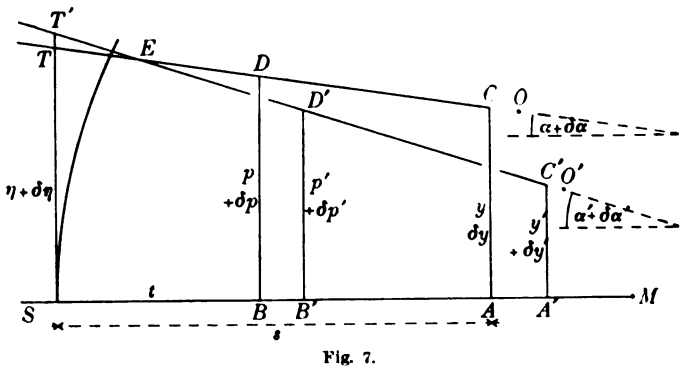


Fig. 7.

Um nun die gesuchten Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung zu erhalten, sind alle Bestimmungsstücke in Gl. 24) und 25), z. B. η, ζ, α, β, η' usw. durch die Ordinaten in den Ebenen A und A' und in den Öffnungsebenen ($y + \delta y$, δz, $p + \delta p$, $q + \delta q$, $y' + \delta y'$ usw.) zu ersetzen und zugleich die reduzierten Seidelschen Koordinaten (Y, δZ, P und Q) in diese Formeln einzuführen. Nach der obigen Figur ist

$$\eta + \delta\eta = (p + \delta p) + t \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \delta\alpha) = (p + \delta p) - t \cdot \frac{(p + \delta p) - (y + \delta y)}{s - t},$$

$$\eta + \delta\eta = \frac{s(p + \delta p) - t(y + \delta y)}{s - t},$$

oder, zufolge der Seidelschen Eliminationsgleichung,

$$\eta + \delta\eta = \frac{nv\chi\,(p + \delta p) - nu\psi\,(y + \delta y)}{T}.$$

d. i. wegen $nv \cdot p = n_1 v_1 p_1 = P$ und $nu \cdot y = n_1 u_1 \cdot y_1 = Y$,

$$\eta + \delta\eta = \frac{P \cdot \chi - Y \cdot \psi + nv\chi \cdot \delta p - nu\psi \cdot \delta y}{T} \qquad 27)$$

Zur Bestimmung der zweiten Ordinate in der Scheitelebene betrachten wir die ähnlichen Trapeze $TD\mathfrak{D}\mathfrak{T}$ und $DC\mathfrak{C}\mathfrak{D}$. In diesen ist

$$\frac{T\mathfrak{T}-D\mathfrak{D}}{D\mathfrak{D}-C\mathfrak{C}}=\frac{TD}{DC}=\frac{SB}{BA},$$

d. i.

$$\frac{(\zeta+\delta\zeta)-(q+\delta q)}{(q+\delta q)-\delta z}=\frac{t}{s-t}.$$

Daraus erhält man für die zweite Ordinate in der Scheitelebene

$$\zeta+\delta\zeta=\frac{s(q+\delta q)-t\cdot\delta z}{s-t}=\frac{nv\chi(q+\delta q)-nu\psi\cdot\delta z}{T},$$

$$\zeta+\delta\zeta=\frac{Q\cdot\chi+nv\chi\cdot\delta q-nu\psi\cdot\delta z}{T}. \qquad 28)$$

Für die Bestimmungsstücke $\mathrm{tg}\alpha+\delta\mathrm{tg}\alpha$ und $\mathrm{tg}\beta+\delta\mathrm{tg}\beta$ in Gl. 24) und 25) ergeben sich in analoger Weise die folgenden Werte:

$$\mathrm{tg}\alpha+\delta\mathrm{tg}\alpha=\frac{(p+\delta p)-(y+\delta y)}{s-t}=\frac{P\cdot u-Y\cdot v+nuv(\delta p-\delta y)}{T}, \qquad 29)$$

und, mit Berücksichtigung der Definition von $\mathrm{tg}\beta$ in Abschnitt VII,

$$\mathrm{tg}\beta+\delta\mathrm{tg}\beta=\frac{\mathrm{tg}TO\mathfrak{T}}{\cos(\alpha+\delta\alpha)}=\frac{D\mathfrak{D}-C\mathfrak{C}}{DC\cdot\cos(\alpha+\delta\alpha)},$$

$$\mathrm{tg}\beta+\delta\mathrm{tg}\beta=\frac{(q+\delta q)-\delta z}{s-t}=\frac{Q\cdot u+nuv(\delta q-\delta z)}{T}. \qquad 30)$$

X.

Aus den letzten Gleichungen entnimmt man ohne weiteres die idealen Werte der Gaußschen Ordinaten und die Werte der Seidelschen Korrektionen, die man dann in Gl. 25) einzuführen hat, um die Bestimmungsgleichungen für die Fehler der Bildpunktordinaten zu erhalten. Für die ersteren ergibt sich

$$\left.\begin{aligned} \eta=\eta'=\frac{P\cdot\chi-Y\cdot\psi}{T}, \quad & \zeta=\zeta'=\frac{Q\cdot\chi}{T}, \\ \mathrm{tg}\alpha=\frac{P\cdot u-Y\cdot v}{T}, \quad & \mathrm{tg}\beta=\frac{Q\cdot u}{T}, \\ \mathrm{tg}\alpha'=\frac{P\cdot u'-Y\cdot v'}{T}, \quad & \mathrm{tg}\beta'=\frac{Q\cdot u'}{T}. \end{aligned}\right\} \qquad 31)$$

Ihre Inkremente, die sämtlich durch die Brechung geändert werden, erhält man, wenn man nach dem Vorgange Seidels die reduzierten Abweichungen, nämlich

$$\begin{aligned} \delta P&=nv\cdot\delta p, \quad \delta P'=n'v'\cdot\delta p', \\ \delta Q&=nv\cdot\delta q, \quad \delta Q'=n'v'\cdot\delta q', \\ \delta Y&=nu\cdot\delta y, \quad \delta Y'=n'u'\cdot\delta y', \\ \delta Z&=nu\cdot\delta z, \quad \delta Z'=n'u'\cdot\delta z' \end{aligned}$$

einführt, nach den Formeln im vorigen Abschnitt in der sehr bequemen Form

$$\left.\begin{aligned} \delta\eta &= \frac{\chi\cdot\delta P-\psi\cdot\delta Y}{T}, & \delta\zeta &= \frac{\chi\cdot\delta Q-\psi\cdot\delta Z}{T},\\ \delta\eta' &= \frac{\chi\cdot\delta P'-\psi\cdot\delta Y'}{T}, & \delta\zeta' &= \frac{\chi\cdot\delta Q'-\psi\cdot\delta Z'}{T},\\ \delta\operatorname{tg}\alpha &= \frac{u\cdot\delta P-v\cdot\delta Y}{T}, & \delta\operatorname{tg}\beta &= \frac{u\cdot\delta Q-v\cdot\delta Z}{T},\\ \delta\operatorname{tg}\alpha' &= \frac{u'\cdot\delta P'-v'\delta Y'}{T}, & \delta\operatorname{tg}\beta' &= \frac{u'\cdot\delta Q'-v'\cdot\delta Z'}{T}. \end{aligned}\right\} \quad 32)$$

Hierin sind die Zusatzgrößen δP, δQ, δY, δZ, $\delta P'$ usw. nicht invariant, sondern einfach als Abkürzungen zu betrachten, während P, Q, Y für alle Flächen unverändert bleiben.

Für die Verbindungen in Gl. 25) ergeben sich sonach die folgenden Ausdrücke

$$\frac{\eta}{r}-\operatorname{tg}\alpha=\frac{1}{T}\left[P\left(\frac{\chi}{r}-u\right)-Y\left(\frac{\psi}{r}-v\right)\right],$$

d. i. nach einer leichten Umformung zufolge Gl. 16)

$$\frac{\eta}{r}-\operatorname{tg}\alpha=\frac{m}{N}\cdot\frac{-P(u-u')+Y(v-v')}{T},$$

$$\frac{\zeta}{r}-\operatorname{tg}\beta=\frac{m}{N}\cdot\frac{-Q(u-u')}{T},$$

ferner, mit Benutzung des Zeichens Δ,

$$\Delta(\operatorname{tg}\alpha)=\frac{-P(u-u')+Y(v-v')}{T},$$

$$\Delta(\operatorname{tg}\beta)=\frac{-Q(u-u')}{T},$$

$$\Delta(\delta\eta)=\frac{\chi\cdot\Delta(\delta P)-\psi\cdot\Delta(\delta Z)}{T},$$

$$\Delta(\delta\zeta)=\frac{\chi\cdot\Delta(\delta Q)-\psi\cdot\Delta(\delta Y)}{T},$$

$$\Delta\left(\frac{n\delta\eta}{r}-n\delta\operatorname{tg}\alpha\right)=\frac{-(u-u')\Delta(\delta P)+(v-v')\Delta(\delta Y)}{NT},$$

$$\Delta\left(\frac{n\delta\zeta}{r}-n\delta\operatorname{tg}\beta\right)=\frac{-(u-u')\Delta(\delta Q)+(v-v')\Delta(\delta Z)}{NT}.$$

Nach Einführung der letzten Werte liefert Gl. 25) die folgenden Bestimmungsgleichungen für $\Delta(\delta Y)=\delta Y'-\delta Y$, $\Delta(\delta Z)=\delta Z'-\delta Z$, $\Delta(\delta P)=\delta P'-\delta P$ und $\Delta(\delta Q)=\delta Q'-\delta Q$:

$$\left.\begin{aligned} \psi\cdot\Delta(\delta Y)-\chi\cdot\Delta(\delta P) &= \underline{\vartheta}\cdot[P(u-u')-Y(v-v')],\\ \psi\cdot\Delta(\delta Z)-\chi\cdot\Delta(\delta Q) &= \underline{\vartheta}\cdot Q(u-u'),\\ (v-v')\cdot\Delta(\delta Y)-(u-u')\cdot\Delta(\delta P) &= -\underline{\lambda}[P(u-u')-Y(v-v')],\\ (v-v')\cdot\Delta(\delta Z)-(u-u')\cdot\Delta(\delta Q) &= -\underline{\lambda}\cdot Q(u-u'). \end{aligned}\right\} \quad 33)$$

Eliminiert man aus der ersten und aus der dritten Gleichung $\Delta(\delta P)$, aus der zweiten und der vierten $\Delta(\delta Q)$, so ergeben sich, unter Berücksichtigung von Gl. 20), für die reduzierten Abweichungen der Bildpunktordinaten die Rekursionsformeln

$$\left.\begin{aligned} \delta Y_c'-\delta Y_c &= \frac{Y(v_c-v_c')-P(u_c-u_c')}{TN_c}[(u_c-u_c')\underline{\vartheta}_c+\chi_c\underline{\lambda}_c],\\ \delta Z_c'-\delta Z_c &= -\frac{Q(u_c-u_c')}{TN_c}[(u_c-u_c')\underline{\vartheta}_c+\chi_c\cdot\underline{\lambda}_c] \end{aligned}\right\} \quad 34)$$

In derselben Weise erhält man Werte für die reduzierten Abweichungen der Strahlschnittpunkte mit den Öffnungsebenen ($\delta P_c' - \delta P_c$ und $\delta Q_c' - \delta Q_c$); doch werden diese zur Bestimmung der Korrektionen der Bildpunktordinaten, auf die es ankommt, nicht gebraucht. Es ist ein wesentlicher Vorzug der Seidelschen Behandlungsweise, daß jene zugleich mit diesen direkt gefunden werden.

XI.

Es sind jetzt noch in Gl. 34) die Funktionen $\underline{\vartheta}$ und $\underline{\lambda}$ durch die Seidelschen Koordinaten (P, Q und Y) auszudrücken. Sie brauchen nur in erster Näherung bestimmt zu werden, weil die genaueren Werte Größen fünfter Ordnung liefern würden. Nach Fig. 6 ist

$$\sin^2\vartheta = \left(\frac{D\mathfrak{E}}{r}\right)^2, \text{ app.} = \left(\frac{S\mathfrak{T}}{r}\right)^2 = \frac{\eta^2+\zeta^2}{r^2},$$

$$\underline{\vartheta} = \tfrac{1}{2} r \sin^2\vartheta = \frac{\eta^2+\zeta^2}{2r} = \frac{(Y\psi - P\chi)^2 + Q^2\chi^2}{2r\cdot T^2},$$

d. i.

$$\underline{\vartheta}_c = \frac{Y^2\psi_c^2 - 2YP\cdot\chi_c\psi_c + (P^2+Q^2)\chi_c^2}{2r_c\cdot T^2}.$$

Um ferner $\underline{\lambda} = \frac{1}{2}(\cos^2\lambda' - \cos^2\lambda)$ genähert zu bestimmen, ziehe man in Fig. 8 durch N und O zur optischen Achse die Parallelen NH und OJ, wie es nebenstehend dargestellt ist. Dann hat man in der dreiseitigen Ecke bei O (Fig. 8)

$$\cos^2 JO\mathfrak{E} = \cos^2 JOE\cdot\cos^2 EO\mathfrak{E} = \cos^2\alpha\cdot\cos^2 o,$$
$$\sin^2 JO\mathfrak{E} = \sin^2\alpha + \sin^2 o.$$

Da alle diese Kantenwinkel klein, doch endlich sind, so kann man $\angle JO\mathfrak{E} = HN\mathfrak{E} = \lambda - 90^0$ und $o = \beta$, und auf der rechten Seite der letzten Gleichung statt der Sinus die Tangenten setzen; die dadurch gemachten Fehler sind Größen vierter Ordnung. Es ergibt sich also

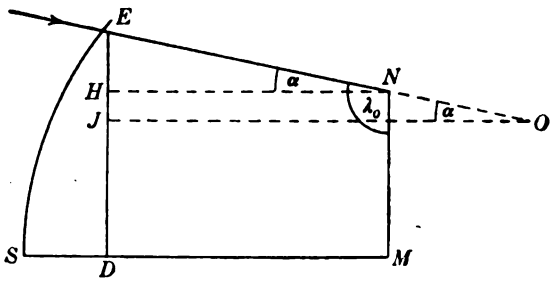


Fig. 8.

$$\cos^2\lambda = \mathrm{tg}^2\alpha + \mathrm{tg}^2\beta,\ \cos^2\lambda' = \mathrm{tg}^2\alpha' + \mathrm{tg}^2\beta',$$
$$\underline{\lambda}_c = -\tfrac{1}{2}(\mathrm{tg}^2\alpha_c - \mathrm{tg}^2\alpha_c' + \mathrm{tg}^2\beta_c - \mathrm{tg}^2\beta_c').$$

Bestimmt man, wie es Seidel tut, λ und λ' nach der allgemeinen Vorschrift der analytischen Stereometrie, wonach die Winkel zwischen zwei Geraden aus deren Gleichungen gefunden werden, so gelangt man nach einer langwierigen Entwicklung zu demselben Resultate; denn die Größen $\underline{P}^2$, $\underline{P}^2$, $\underline{Q}^2$, $\underline{Q}^2$ bei Seidel (§ 5) sind ihrer geometrischen Bedeutung nach nichts anderes als $\mathrm{tg}^2\alpha$, $\mathrm{tg}^2\alpha'$, $\mathrm{tg}^2\beta$, $\mathrm{tg}^2\beta'$.

Die letzte Gleichung für $\underline{\lambda}_c$ verwandelt sich dann schließlich, zufolge Gl. 31), in

$$\underline{\lambda}_c = -\frac{Y^2(v_c^2 - v_c'^2) - 2YP(u_c v_c - u_c' v_c') + (P^2+Q^2)(u_c^2 - u_c'^2)}{2T^2}.$$

XII.

Wenn man diese Werte für $\underline{\vartheta}_c$ und $\underline{\lambda}_c$ in die Gleichungen für die Fehler der Bildpunktordinaten einführt, so erhält man für die letzteren Ausdrücke von der Form

$$\delta Y_c' - \delta Y_c = -\frac{Y(v_c - v_c') - P(u_c - u_c')}{T} \cdot K,$$

$$\delta Z_c' - \delta Z_c = -\frac{Q(u_c - u_c')}{T} \cdot K,$$

worin der gemeinsame Klammerfaktor K die folgende Bedeutung hat

$$K = \left(\frac{1}{T}\right)^2 \frac{1}{2N}\left[Y^2 \frac{\psi_c^2}{r_c}(u_c - u_c') - Y^2 \chi_c (v_c^2 - v_c'^2) - 2YP\frac{\chi_c \psi_c}{r_c}(u_c - u_c')\right.$$
$$\left. + 2YP\chi_c(u_c v_c - u_c' v_c') + (P^2 + Q^2)\frac{\chi_c^2}{r_c}(u_c - u_c') - (P^2 + Q^2)\chi_c(u_c^2 - u_c'^2)\right].$$

Dieser Ausdruck kann noch etwas vereinfacht werden, indem man nach den Formeln im V. Abschnitt

$$\frac{\psi}{r} = \frac{mv' - m'v}{N}, \quad \psi(u - u') = \chi(v - v') - NT$$

einführt und auf diese Weise die Einfallshöhe des zweiten Hilfsstrahles (ψ) eliminiert. Es ergibt sich dann $\delta Y_c' - \delta Y_c$ und $\delta Z_c' - \delta Z_c$ in der Gestalt

$$\left.\begin{aligned}
\delta Y_c' - \delta Y_c &= -\frac{R^2 P}{T^3}\cdot\alpha_I + \frac{(3P^2 + Q^2)Y}{T^3}\cdot\alpha_{II} - \frac{PY^2}{T^3}(3\alpha_{III} + \tfrac{1}{2}T^2\cdot\alpha_{IV}) + \frac{Y^3}{T^3}\cdot\alpha_V, \\
\delta Z_c' - \delta Z_c &= -\frac{R^2 Q}{T^3}\cdot\alpha_I + \frac{2PQY}{T^3}\cdot\alpha_{II} - \frac{QY^2}{T^3}(\alpha_{III} + \tfrac{1}{2}T^2\cdot\alpha_{IV}),
\end{aligned}\right\} \quad 35)$$

worin die Abweichungskoeffizienten, Funktionen der Bestimmungsstücke der Seidelschen Hilfsstrahlen die Werte haben

$$\left.\begin{aligned}
&\alpha_I = -\frac{\chi_c(u_c - u_c')^2(m_c u_c - m_c' u_c')}{2N^2}, \quad \alpha_{II} = \alpha_I \frac{v_c - v_c'}{u_c - u_c'}, \\
&\alpha_{III} = \alpha_I\left(\frac{v_c - v_c'}{u_c - u_c'}\right)^2, \quad \alpha_{IV} = \frac{N}{r}, \text{ nach Abschnitt VI}, \\
&\alpha_V = \alpha_I\left(\frac{v_c - v_c'}{u_c - u_c'}\right)^3 + \tfrac{1}{2}T^2\alpha_{IV}\frac{v_c - v_c'}{u_c - u_c'}.
\end{aligned}\right\} \quad 36)$$

Es versteht sich wohl von selbst, daß bei der Ausrechnung dieser Formeln auch die vorkommenden Binome $u - u'$, $v - v'$ usw. durch einfache Zeichen, etwa u_I, v_I, u_{II}, v_{II} und v_{III} zu ersetzen sind.

XIII.

Die letzten Rekursionsformeln liefern ohne weiteres die Abweichungen für Systeme von k Kugelflächen. Läßt man den Index in Gl. 35) die Werte 1 bis k durchlaufen und addiert die sich ergebenden k Gleichungen, so erhält man auf der linken Seite, wegen $\delta Y_1 = \delta Z_1 = 0$, $\delta Y_1' - \delta Y_2 = \delta Z_1' - \delta Z_2 = 0$, $\delta Y_2' - \delta Y_3 = \delta Z_2' - \delta Z_3 = 0$ usw.: $\delta Y_k'$ und $\delta Z_k'$. Die meridionale und die sagittale Abweichung des windschiefen Strahles nach k Brechungen sind daher bestimmt durch

$$\left.\begin{aligned}
\delta Y_k' &= -\frac{R^2 P}{T^3}\sum_1^k \alpha_I + \frac{(3P^2 + Q^2)Y}{T^3}\cdot\sum_1^k \alpha_{II} - \frac{PY^2}{T^3}\left(3\sum_1^k \alpha_{III} + \tfrac{1}{2}T^2\cdot\sum_1^k \alpha_{IV}\right) + \frac{Y^3}{T^3}\cdot\sum_1^k \alpha_V, \\
\delta Z_k' &= -\frac{R^2 Q}{T^3}\sum_1^k \alpha_I + \frac{2PQY}{T^3}\sum_1^k \alpha_{II} - \frac{QY^2}{T^3}\left(\sum_1^k \alpha_{III} + \tfrac{1}{2}T^2\sum_1^k \alpha_{IV}\right),
\end{aligned}\right\} \quad 37)$$

oder, wenn man die Summen durch S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}, S_V bezeichnet,

$$\delta Y_k' = -\frac{R^2 P}{T^3}\cdot S_I + \frac{(3P^2 + Q^2)Y}{T^3} S_{II} - \frac{PY^2}{T^3}(3S_{III} + \tfrac{1}{2}T^2\cdot S_{IV}) + \frac{Y^3}{T^3}\cdot S_V,$$

$$\delta Z_k' = -\frac{R^2 Q}{T^3}\cdot S_I + \frac{2PQY}{T^3}\cdot S_{II} - \frac{QY^2}{T^3}(S_{III} + \tfrac{1}{2}T^2\cdot S_{IV}).$$

In Fig. 9 sind die wirklichen Abweichungen der Bildpunktordinaten in der Gaußschen Ebene A_k', $\delta y_k'$, $\delta z_k'$, stark vergrößert dargestellt. Darin bedeutet $A'C'$ die Kante zwischen dem Meridianschnitt und dem Gaußschen Transversalschnitt A', $\mathfrak{C}'$ den wirklichen, $\mathfrak{C}_0'$ den idealen Strahlschnittpunkt, $\delta y'$ die meridionale oder tangentiale, dz' die sagittale Abweichung des Punktes $\mathfrak{C}'$. Die Lage dieses Punktes, kann nach den Seidelschen Formeln für jeden windschiefen Strahl von mäßig großer Neigung leicht berechnet werden. Setzt man, wie es gewöhnlich der Fall sein wird $s_1 = \infty$, den angulären Abstand des leuchtenden Punktes $= \operatorname{tg} w_1 = \frac{y_1}{s_1}$ und die Ordinaten des Einfallspunktes in der Eintrittspupille, deren Abstand von der ersten Kugelfläche t_1 bekannt ist, gleich p_1 und q_1, so findet man zunächst für eine passend gewählte Einfallshöhe des ersten parallelen Hilfsstrahles, $\chi_1 = 1$, nach Abschnitt III

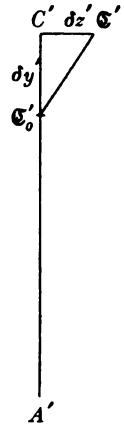


Fig. 9.

$$Y = n_1 u_1 y_1 = n_1 \chi_1 \frac{y_1}{s_1} = n_1 \chi_1 \operatorname{tg} w_1 = n_1 \operatorname{tg} w_1$$

ebenso für eine angemessene Neigung v_1 des zweiten Hilfsstrahles durch die Mitte der *E. P.*

$$P = n_1 v_1 p_1, \quad Q = n_1 v_1 q_1, \quad R^2 = P^2 + Q^2,$$
$$T = n_1 u_1 v_1 (s_1 - t_1) = n_1 \chi_1 v_1 = n_1 v_1 .$$

Hierauf durchrechnet man nach bekannten Formeln (von Rohr, a. a. O. S. 43 die beiden achsennahen Hilfsstrahlen von Fläche zu Fläche, so daß die Achsenwinkel u_c und v_c und die Einfallshöhe $\chi_c = s_c u_c$ (die Einfallshöhe ψ_c hatten wir eliminiert) bekannt sind, bestimmt aus diesen für alle Flächen die Abweichungskoeffizienten α_I bis α_V nach den soeben mitgeteilten Formeln und berechnet daraus $S_I = \sum_1^k \alpha_I$ bis $S_V = \sum_1^k \alpha_V$. Man hat dann alle Daten (Y, P, Q, R^2, T, S_I bis S_V), um nach Gl. 37 die reduzierten Abweichungen $\delta Y_k'$ und $\delta Z_k'$ zu bestimmen. Die wirklichen Abweichungen sind dann nach der Definition im Abschnitt X

$$\delta y_k' = \frac{\delta Y_k'}{n_k' u_k'} \quad \text{und} \quad \delta z_k' = \frac{\delta Z_k'}{n_k' u_k'}$$

und die wirklichen Bildpunktordinaten, wegen

$$y_k' = (y_0')_k + \delta y_k' \quad \text{und} \quad z_k' = (z_0')_k + \delta z_k' = \delta z_k',$$
$$y_k' = f \operatorname{tg} w_1 + \delta y_k', \quad \delta z_k' = \frac{\delta Z_k'}{n_k' u_k'}.$$

Es ist empfehlenswert, sich durch zahlenmäßige Bestimmung der Abweichungen vieler Strahlen verschiedener Systeme in diesen Rechnungen zu üben.

XIV.

Für die weitere Entwicklung ist es vorteilhaft, in diese Formeln statt der Achsenwinkel die Brechungswinkel i und j einzuführen. Betrachten wir zunächst die erste Summe $S_I = \sum \alpha_I$, so ist

$$\alpha_I = -\frac{\chi (u - u')^2 (m u - m' u')}{2 N^2}.$$

Setzt man nach Abschnitt VI

$$u - u' = -(i - i') = -\frac{n' - n}{n'} i = -\frac{n' - n}{n} i',$$

so wird

$$mu - m'u' = (m - m')u + m'(u - u') = Nu - \frac{n' - n}{nn'} i' = +N(u - i'),$$

oder wegen $u - i' = u' - i$

$$mu - m'u' = -N(i - u').$$

Führt man nun in α_I die Werte ein, setzt also einmal $u - u' = -(i - i')$ und so dann $u - u' = -nNi$ und $mu - m'u' = -N(i - u')$, so ergibt sich

$$\alpha_I = \tfrac{1}{2}\chi \cdot ni(i - i')(i - u').$$

Bezeichnet man der Kürze wegen noch die Funktion von n und i durch J, indem man setzt

$$J = \tfrac{1}{2} ni(i - i')(i - u'),$$

so erhält man schließlich $\alpha_I = \chi \cdot J$ und

$$S_I = \sum_1^k \chi J.$$

Daraus folgen ohne weiteres die entsprechenden Werte der übrigen Summen, nämlich

$$S_{II} = \sum_1^k \alpha_{II} = \sum_1^k \frac{v - v'}{u - u'} \alpha_I = \sum_1^k \alpha_I \frac{j}{i} = \sum_1^k \chi J \frac{j}{i},$$

$$S_{III} = \sum_1^k \alpha_{III} = \sum_1^k \left(\frac{v - v'}{u - u'}\right)^2 \alpha_I = \sum_1^k \alpha_I \frac{j^2}{i^2} = \sum_1^k \chi J \frac{j^2}{i^2},$$

$$S_{IV} = \sum_1^k \frac{N}{r},$$

$$S_V = \sum_1^k \alpha_V = \sum_1^k \left[\alpha_I \left(\frac{v - v'}{u - u'}\right)^3 + \tfrac{1}{2} T^2 \alpha_{IV} \frac{v - v'}{u - u'}\right],$$

d. i.

$$S_V = \sum_1^k \chi J \frac{j^3}{i^3} + \tfrac{1}{2} T^2 \sum_1^k \frac{N}{r} \frac{j}{i},$$

womit die Seidelschen Summen als Funktionen der beiden Einfallswinkel dargestellt sind.

Die reduzierten Abweichungen lauten also in dieser neuen Form:

$$\delta Y_k' = -\frac{R^2 P}{T^3} \Sigma \chi J + \frac{(3P^2 + Q^2) Y}{T^3} \Sigma \chi J \frac{j}{i} - \frac{PY^2}{T^3} \left(3 \Sigma \chi J \frac{j^2}{i^2} + \tfrac{1}{2} T^2 \sum \frac{N}{r}\right) + \frac{Y^3}{T^3} \left(\Sigma \chi J \frac{j^3}{i^3} + \tfrac{1}{2} T^2 \sum \frac{N}{r} \frac{j}{i}\right),$$

$$\delta Z_k' = -\frac{R^2 Q}{T^3} \Sigma \chi J + \frac{2PQY}{T^3} \Sigma \chi J \frac{j}{i} + \frac{QY^2}{T^3} \left(\Sigma \chi J \frac{j^2}{i^2} + \tfrac{1}{2} T^2 \frac{N}{r}\right).$$

(Schluß folgt.)

Bücherbesprechungen.

Max Born, Die Relativitätstheorie Einsteins. Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher, dritter Band. 2. Auflage. Mit 133 Textabbildungen. J. Springer, Berlin 1921. Broschiert 39 M., geb. 52 M.

An populären Büchern über die Relativitätstheorie besteht kein Mangel, doch gibt es keines, das man dem physikalisch und mathematisch begabten Laien mehr empfehlen kann, als das vorliegende. Auch das von Einstein selbst geschriebene Buch aus der Sammlung Vieweg bildet keine Ausnahme. Nur wenige Theoretiker besitzen das mathematische Rüstzeug, um in die Tiefen der Relativitätstheorie einzudringen. Niemand kann darum erwarten, auf wenigen Seiten eine leichtverständliche Darstellung dieser neuen Wissenschaft, welche altgewohnte Gedankenkreise zerstört, zu finden. Born gibt auf 164 Seiten zunächst eine meisterhaft geschriebene Einführung in die physikalischen Grundbegriffe, um dann auf nur 74 Seiten die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie zu behandeln. Er bedient sich überall einer schönen Sprache und durchsetzt seine Darstellung mit vielen geistreichen Bemerkungen.

Zum Schluß wird eine Zusammenstellung derjenigen Physiker und Mathematiker gegeben, die die Wissenschaft besonders gefördert haben. Leider fehlt in der Reihe der noch Lebenden H. A. Lorentz. *Henning.*

R. Greeff, Die Erfindung der Augengläser. Kulturgeschichtliche Darstellungen nach urkundlichen Quellen. (Optische Bücherei Bd. 1.) VIII, 120 S. mit 10 Tafeln. Berlin, Alexander Ehrlich, 1921. Geb. 24 M.

Auf engem Raum hat der Direktor der Berliner Universitäts-Augenklinik, Geh. Medizinalrat Prof. Dr. Greeff, mit wissenschaftlicher Gründlichkeit alle ihm zugänglichen literarischen Quellen zur Erfindung der Augengläser kritisch gesichtet und damit weiten Kreisen, darunter auch der Instrumentenkunde, einen wertvollen Dienst geleistet. Einen großen Teil der Mythen, Irrtümer und Fälschungen, welche seit Jahrhunderten an die Geschichte der Augengläser geknüpft sind, hat Greeff auf Grund jahrelanger Forschungen verwerfen, aufklären und richtigstellen müssen. Die wissenschaftliche Gründlichkeit hat jedoch hier eine Form gefunden, die das Studium des Buches zu einem ästhetischen Genuß machen, den sich nicht nur der Fachmann verschaffen sollte, sondern jeder, der aus wichtigen kulturgeschichtlichen Darstellungen Nutzen und Belehrung schöpfen will. *G.*

Alfred Hay, Sehen und Messen. Die geometrischen, physikalischen und physiologischen Grundlagen der Photogrammetrie, Stereoskopie und Stereophotogrammetrie. IV, 95 S. m. 38 Abbildungen im Text. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1921. Preis K. 48, M. 10.

Der Haupttitel ist etwas irreführend gewählt, denn man erwartet danach eine Schilderung derjenigen Einflüsse auf Beobachtungen und Messungen, welche durch den Bau des Auges bedingt sind. Davon ist aber überhaupt nicht die Rede, es handelt sich vielmehr vorwiegend um eine kurze Schilderung des Wesens und der Methoden der Photogrammetrie, in der Form einer kompendiösen Zusammenstellung des hauptsächlichen, sonst etwas zerstreuten Materials. Die einzelnen Kapitel behandeln: Das Wesen, der Zweck und die Methoden der Photogrammetrie im allgemeinen. Die Marken zur Orientierung des Bildes; das Koordinatensystem. Das photographische Objektiv. Die Apparatur der Photogrammetrie. Photographische Winkelmessung. Die Meßtischphotogrammetrie. Methoden zur Bestimmung der Bildweite der zur Aufnahme verwendeten Apparate. Die Stereophotogrammetrie. Stereobilder; deren Betrachtungsweise und Justierung, Stereokameras. Die Ausmessung der Stereogramme, die wandernde Marke. Der Stereokomparator. Der Verschwenkungs- und Konvergenzfall der Stereophotogrammetrie. Die Kartierungs- (Auftrage-) verfahren der Stereophotogrammetrie. Die Feldarbeit der Stereophotogrammetrie. Anwendungsgebiete der Stereophotogrammetrie. Die Röntgenphotogrammetrie. Die Stereomikroskopie. Dabei sind die drei letzten Kapitel nur ganz kurz behandelt und geben nicht viel mehr als einige Andeutungen der Hinweise. — Das kleine Buch dürfte geeignet sein, dem Fernerstehenden einen ersten Überblick über die Grundlagen und Methoden der Photogrammetrie zu geben. *Berndt.*

Hans B. Willers, Die Nebenstellentechnik. 8°. VI, 172 S. m. 137 Textabbildungen. Berlin, J. Springer, 1920. Geb. 26 M.

Während über die Fernsprechämter im allgemeinen bereits ein beachtenswertes Material zusammengestellt worden ist, hat es bisher an Büchern gefehlt, die sich ausschließlich mit den Nebenstellen befassen. Es muß daher mit Dank begrüßt werden, daß der Verf. sich der Mühe unterzogen hat, das Nebenstellengebiet in einem abgeschlossenen Werk zu behandeln. Es ist dem Verf. nicht nur darum zu tun gewesen, die bisher bekannt gewordenen Einrichtungen und Schaltungen zusammenzustellen und zu beschreiben, sondern er hat insbesondere versucht, die Grundzüge dieser feingegliederten Technik zu entwickeln, um Verständnis für die Notwendigkeit der Einzelelemente in den Schaltungen zu erwecken; ebenso hat er die wirtschaftlichen Fragen bei den einzelnen Systemen erörtert.

Nach einigen einleitenden Abschnitten über die Grundzüge der Nebenstellentechnik ist das Buch eingeteilt in:

Nebenstellenanlagen mit durchgehenden Amtsleitungen (Reihenschaltung, Parallelschaltung).

Nebenstellenanlagen mit Zentralschaltung und manuellem Betrieb (Allgemeines, Zwischenstellenumschalter, Hauptstellenschränke) und

Nebenstellenanlagen mit Zentralschaltung und halbselbsttätigem Betrieb (Allgemeines, Relaisschaltungen, Wählerschaltungen). *Alberti.*

E. Niemann, Funkentelegraphie für Flugzeuge. Bd. IX des Handbuches der Flugzeugkunde. Gr. 8°. 343 Abb. im Text. Berlin W 62, Richard Carl Schmidt & Co. 1921. 120 M.

Das Handbuch der Flugzeugkunde will die außerordentlich wertvollen flugtechnischen Erfahrungen und Versuchsergebnisse, die in den Jahren 1914—1918 in der Flugzeugmeisterei gesammelt worden sind, in zusammengefaßter Form als „wissenschaftliches Vermächtnis der Flugzeugmeisterei" zur Förderung der zukünftigen Flugtechnik zugänglich machen. Im Rahmen dieser Aufgabe behandelt der vorliegende Band die auf flieger-funkentelegraphischem Gebiete gesammelten Erfahrungen der F.-T.-Versuchsabteilung. Das Buch wendet sich deshalb auch hauptsächlich an militärtechnische Kreise, sowie an Freunde und Fachleute des Flugzeugwesens, weniger an wissenschaftliche Fachkreise.

Nach einem einleitenden allgemeinen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Funkentelegraphie und die besonderen Aufgaben, die sich im Flugverkehr ergeben, behandelt Verf. zunächst die Eigenschaften der verschiedenen Flugzeugantennen, der herabhängenden und der festeingebauten. Die Kathodenröhre, die für die Flieger-Funken-Telegraphie von ganz besonderer Bedeutung gewesen ist, wird in ihrer Wirkungsweise als Niederfrequenzverstärker, als Detektor, als Schwingungserzeuger, als Hochfrequenzverstärker und als Überlagerer erläutert, ebenso die Methoden zur Prüfung der Röhren. Dem mechanischen und pneumatischen Relais, sowie den Fernhörern sind besondere Abschnitte gewidmet. Es folgt dann eine ermüdend ausführliche und durch viele Abbildungen ergänzte Beschreibung der verschiedenen F.-T.-Bordgeräte und der F.-T.-Bodenstationen, soweit sie als Gegenstationen für Flugzeuge in Frage kommen. Weitere Abschnitte behandeln die F.-T.-Peilung von Flugzeugen, die Einwirkung größerer Flughöhen auf das F.-T.-Bordgerät, das Flieger F.-T.-Gerät des Auslandes, die drahtlose Bildübertragung und die drahtlose Telephonie.

Dem Buch ist das Literaturverzeichnis aus dem bekannten Lehrbuche von Rein aus dem Jahre 1917 beigefügt. Von der z. T. sehr bedeutenden und umfangreichen Literatur, die seit diesem Jahre erschienen ist, hat der Verf. nur seine beiden eigenen Arbeiten angefügt.

Bei einer etwaigen Neuauflage des Werkes wäre es wünschenswert, wenn die zahlreichen Druckfehler und Irrtümer, die sich auch innerhalb der Gleichungen finden, beseitigt würden.

Alberti.

Dr.-Ing. Preuß, Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskops. Berlin, J. Springer 1921.

Das vortreffliche kleine Werk ist, nachdem es in erster Auflage rasch vergriffen war und wegen des im Kriege erfolgten Todes des Verf. inzwischen nur durch einen Neudruck ergänzt

werden konnte, nunmehr von Prof. Dr. Berndt und A. Cochius, zwei bewährten Fachleuten, in erweiterter und verbesserter zweiter Auflage neu herausgegeben worden, und wird sich zu den alten Freunden sicherlich noch viele neue hinzu erwerben, da es tatsächlich einem dringenden Bedürfnis weiter Kreise entspricht. An der ganzen Anlage haben die Bearbeiter mit Recht nichts Wesentliches geändert, nur in dem Kapitel über das System Eisenkohlenstoff ist das Zustandsdiagramm der Fe-C-Legierungen unter Hinweis auf analoge Beispiele kurz entwickelt worden, um den in der Praxis stehenden Ingenieur mit diesem wichtigen Teil der Metallographie bekannt zu machen, ohne welchen heutzutage niemand auskommen kann, der mit der thermischen Behandlung des Eisens, namentlich dem Härten und Anlassen von Stahl, zu tun hat. Außerdem ist natürlich die seit der ersten Auflage (1912) erschienene Literatur eingehend berücksichtigt worden, und namentlich haben auch die Abbildungen eine beträchtliche Vermehrung erfahren, was den Wert der neuen Auflage ganz beträchtlich vergrößert, wie es ja die ausgesprochene Absicht des ganzen Werkchens ist, weniger durch Theorie, als durch Anschauung zu wirken. Um den Umfang nicht allzusehr anschwellen zu lassen, mußten zwei entbehrliche Kapitel wegbleiben; der Inhalt umfaßt nun folgende Abschnitte: A. Makroskopische Prüfungen (Schleifen und Ätzen der Proben; Schweißeisen; Flußeisen; Formänderungen des Eisens; Schweißungen). B. Mikroskopische Prüfungen (Schleifen, Polieren und Ätzen der Proben; das Metallmikroskop; Haltepunkte und Zustandsdiagramm; Schmiedeeisen und Stahl; gehärteter Stahl; Gußeisen; die Struktur des Gefüges; Ausglühen; Überhitzen; Verbrennen; Walzen und Kaltbearbeitung des Eisens; Einschlüsse, Schlacken; Schweißnäte). C. Ergänzung der Metallographie durch andere Untersuchungen.

Die Darstellung ist flüssig und klar, die Abbildungen, zum größten Teil schwer durch den Druck wiederzugebende Schliffbilder, sind vorzüglich, der ganze Inhalt ist dem Standpunkt der heutigen Zeit angepaßt; nur in einem Punkte ist dem Referenten das Gegenteil aufgefallen: Die Bearbeiter haben bei der Besprechung des Zustandsdiagramms die alten Modifikationen des Eisens, α-, β- und γ-Eisen, beibehalten, ohne zu erwähnen, daß nach den neueren und durch zahlreiche und schwerwiegende Gründe gestützten Ansichten von Weiß, Honda usw. das β-Eisen gar nicht als besondere Modifikation existiert, daß vielmehr der Übergang aus dem magnetisierbaren in den unmagnetisierbaren Zustand des α-Eisens lediglich durch die thermische Agitation der Moleküle bedingt ist. Allerdings mag es vorteilhaft sein, bei einem derartigen populären Werk die frühere Einteilung beizubehalten, bis die Entscheidung dieser recht wichtigen Frage endgültig gefallen und allgemein anerkannt ist; aber ein kurzer Hinweis, wenigstens in Form einer Anmerkung, wäre doch erwünscht gewesen.

Der Verlag (Julius Springer) hat für eine tadellose Ausstattung in Papier und Druck gesorgt; der Preis (18,40 M.) ist gegenüber dem Gebotenen (124 S. Text, 153 Abbildungen) nach heutigen Verhältnissen mäßig zu nennen. *Gumlich.*

H. Mosler, Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung. 8°. VIII, 240 S. m. 218 Textfig. Braunschweig, Fr. Vieweg und Sohn. 1920. Geh. 24 M.

Das Buch will dem Interesse weiterer Kreise für die drahtlose Fernmeldetechnik dienen. Die Auswahl des Stoffes trägt daher namentlich praktischen Gesichtspunkten Rechnung und gibt von den physikalischen Grundlagen nur das Notwendige. Das nach Inhalt und Ausstattung gleich vorzügliche Buch sei auch unserem Leserkreis bestens empfohlen. *G.*

W. A. Dyes, Internationales Handbuch der Weltwirtschaftschemie (Chem.-Ökonomie) 1913/14 bis 1919/20. Ausgabe D. Bd. I. XLIV, 752 S. Selbstverlag des Herausgebers und Verfassers (Auslieferung: Hopfsche Verlagsdruckerei Gebr. Jenne, G.m.b.H., Wittenberg, Bez. Halle). Januar 1921.

Während es auf naturwissenschaftlichem Gebiete, einschließlich ihrer angewandten, technischen Teile, dank einer ausgedehnten Referier- und Handbuchliteratur auch dem einzelnen Forscher oder Praktiker möglich ist, sich jede gewünschte Kenntnis über die bisherigen Leistungen irgendeines Spezialgebietes zu verschaffen, fehlt es an einer derartigen Möglichkeit auf wirtschaftlichem Gebiete noch durchaus. Gegenwärtig können „infolge Papiermangels die deutschen tech-

nisch-chemischen Zeitschriften nur in sehr beschränktem Maße die für die Wirtschaftschemie wichtigen Angaben bringen". „Außerordentlich viel wertvolles Material geht den deutschen Interessenten verloren, wenn sie nicht Zeit finden, die ausländischen Journale eingehend durchzuarbeiten. Für viele aber verbietet sich ja heute die Anschaffung teurer ausländischer Zeitschriften; auch Zeitmangel ist häufig der Grund ungenügender Informationen." Hier nun will der Verfasser eingreifen. Sein Bestreben geht dahin, den Lesern — „Wissenschaftlern, Chemikern, Kaufleuten —, denen kein Archiv oder neuestes Bibliotheksmaterial zur Verfügung steht", „eine solche Fülle von Informationen und Anregungen zur Verfügung zu stellen, daß sie daraufhin — wenigstens bezüglich wirtschaftlicher Informationen — auch gegen die Konzerns wettbewerbsfähig bleiben", welche bisher schon „alle und jede Information, die sie für ihre Zwecke wünschen, dank ihrer reichen Mittel erlangen können".

Der I. Band des vorliegenden Werkes, das weniger ein „Handbuch" als ein „Jahrbuch" darstellt, bringt solche Informationen aus deutschen, französischen, englischen und amerikanischen Zeitschriften des Zeitraumes 1913/14 bis 1919/20 in umfassendstem Maße. Außer den Rohstoffen und chemischen Produkten behandelt der Verfasser auch Grenzgebiete, wie Akkumulatoren, Grammophone, Dachbedeckung, Kesselheizung, Apparate und Einrichtungen für Industrie und Laboratorium, Dentistenchemie, Gaskampf, Gas- und elektrische Lampen, Elektroden, Leuchtpräparate, Zündmittel, Photographie usw. Neben den eigentlichen wirtschaftlichen Angaben finden sich Mitteilungen über technisch und wirtschaftlich wichtige chemische und physikalische Eigenschaften. Auch Fragen ganz allgemeiner Natur werden erörtert, wie Spenglers „Untergang des Abendlandes", Kraft- und Wärmewirtschaft, Abfallwirtschaft, Transport, Erfindungen und Erfinderschutz, Patente und Fabrikgeheimnisse, Unterricht, Forschungen und Forschungsinstitute, Psychotechnik, biologische und biochemische Fragen, Papiergeld und Goldbasis, Wiederaufbau und Sozialisierung usw., wie sich der Verfasser überhaupt bemüht, weniger dem Spezialisten Neues zu bieten, als vielmehr den Blick auf weltbewegende soziale und kulturelle Zusammenhänge, auf wirtschaftliche Beziehungen, wirtschaftliche Bedürfnisse und Möglichkeiten der verschiedensten Länder der Welt zu lenken.

Bei dieser Neigung des Verfassers, allgemeine Überblicke und Zusammenhänge zu geben, erweist es sich als besonders störend, daß das Buch in wörterbuchartiger alphabetischer Anordnung geschrieben ist. Obwohl systematische Vollständigkeit keineswegs erstrebt wird und auch gar nicht erstrebt werden kann, würde das Werk durch eine systematische Anordnung nur gewinnen können. Verfasser empfindet selbst, daß sich bei einer alphabetischen Anordnung „der kaleidoskopartige Eindruck einer solchen Übersicht leider nicht vermeiden" läßt, und sucht deshalb den Lesern die Orientierung dadurch zu erleichtern, daß er einleitend einen besonderen „Führer durch den ersten Band" gibt. Die alphabetische Anordnung muß jedenfalls als ein primitiver Zustand gelten, der nur noch bei eigentlichen Wörterbüchern Daseinsberechtigung hat, um so mehr, als neuerdings, und zwar mit Erfolg, der Versuch gemacht worden ist, mehrsprachigen technischen Wörterbüchern eine systematische Ordnung zu geben.

Alles in allem genommen, liegt ein originelles, wertvolles Werk vor, dem ein Erfolg zu wünschen ist. Der volle Wert in einem Sammelwerk dieser Art kann jedoch erst dann herauskommen, wenn es dem Verfasser gelungen ist, das gesamte Material über die chemische Industrie und die mit ihr enger verknüpften Industrien, Gewerbe und Rohstoffe der ganzen Welt zusammenzutragen und zu bearbeiten. Der I. Band läßt erhoffen, daß es dem Verfasser gelingen wird, diesem Ziele mit jedem weiteren Bande näher zu kommen. Das Werk soll in mehreren Ausgaben erscheinen. Bis jetzt liegen vor: eine deutsche Ausgabe D und eine englische Ausgabe E.

E. Groschuff.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. - Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **H. Krüss** in Hamburg,
R. Straubel in Jena, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin.

Schriftleitung: Professor Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg.

Einundvierzigster Jahrgang.

1921.

12. Heft: Dezember.

Inhalt:

Inhaltsverzeichnis des Jahrgangs 1921 S. III.

Dr. A. Kerber †, Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel. (Schluß von S. 332) S. 337. — Prof. Dr. C. Pulfrich, Über einige Verbesserungen des Kartierungsverfahrens bei stereophotogrammetrischen Arbeiten S. 348. — R. Schumann, Über Messungen an einem Zwei-Pendel-Apparat S. 352. — Dr.-Ing. P. Werkmeister, Nivellierstab S. 355.

Referate: Neuerung an Planimetern, von Reiß S. 358. — Die Entspannungstemperatur des Glases S. 358. — Ein neues Vakuummanometer S. 360. — Die Verflüssigung des Glases S. 360. — Ein Mikrovoltameter S. 361.

Bekanntmachnung S. 361.

Erhöhung der Prüfungsgebühren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt S. 362.

Namen- und Sachregister S. 363.

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1921 S. 367.

Fehlerberichtigung S. 367.

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1921.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 80,— für den Jahrgang, M. 20,— für das Vierteljahr bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Prof. Dr. Göpel, Charlottenburg-Berlin 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30 %	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen und Beilagen: Berlin Nr. 118935 Julius Springer Anzeigenabteilung. Für alle übrigen Zahlungen Berlin Nr. 11100 Julius Springer.

Längen-Kreisteil- u. Graviermaschinen

in bekannt erstklassiger Ausführung, desgleichen

Teilungen und Gravierungen aller Art

fertigen die

Kemptener Präzisionsmechanischen Werkstätten

G. KESEL

G. m. b. H.

in Kempten i. Allg.

[6147]

Gravier-Apparat

zum Beziffern der Teilkreise geodätischer Instrumente oder zur Herstellung von Kennzeichen an optischen Gläsern.

LAACK

Feinoptik!

Alle Sorten

Linsen und Objektive

für Fernrohre, Mikroskope, Lupen usw. mit und ohne Fassung fertigen

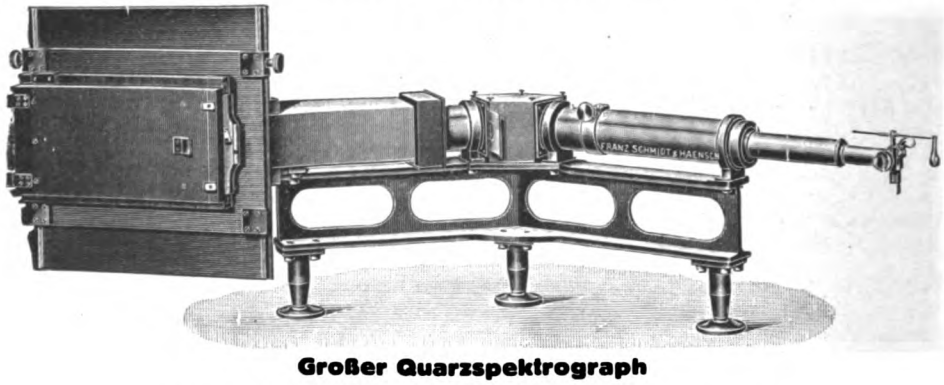
Julius LAACK Söhne,

RATHENOW a. H. [6167]

Franz Schmidt & Haensch

BERLIN S 42

Prinzessinnenstr. 16 Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch. Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope. Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6144]

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLI. Jahrgang. **Dezember 1921.** Zwölftes Heft.

Entwicklung der Formeln für die Abweichungen dritter Ordnung nach Ludwig Seidel.

Von

Dr. **Arthur Kerber** †.

(Schluß von S. 332.)

XV.

Ein großer Vorzug der Seidelschen Behandlungsweise ist ihre allgemeine Gültigkeit, so daß man in den Formeln nur die Werte für die Anfangskoordinaten zu ändern braucht, um für jeden beliebigen Strahl (die achsonomen, meridionalen, sagittalen, für äquidistante Strahlen, unendlich enge Büschel usw.) die Fehler zu erhalten, mit anderen Worten: daß alle Einzelfehler in den Formeln enthalten sind (womit ich selbstverständlich nicht behaupten will, daß die besondere Entwicklung dieser überflüssig ist). Im folgenden sollen nun zum Schlusse die Einzelfehler aus den allgemeinen Formeln, ferner aus den Lateralabweichungen in jedem Falle die entsprechende Längenabweichung abgeleitet und die Bedeutung der Seidelschen Summen für das Bild erörtert werden.

Betrachten wir zunächst in Fig. 10 die achsonomen (direkten) Strahlen (die auch außerhalb des Meridianschnitts verlaufen können, so daß EO' in der Figur die Projektion eines solchen darstellt, jedoch die optische Achse nach der Brechung im Punkte O' schneiden müssen, weil der konjugierte leuchtende Punkt in dieser liegt), so ist der seitliche Abstand des leuchtenden Punktes O_1 gleich Null, also auch der reduzierte Achsenabstand $Y = 0$ zu setzen. Es ergibt sich also in diesem Falle nach Gl. 37)

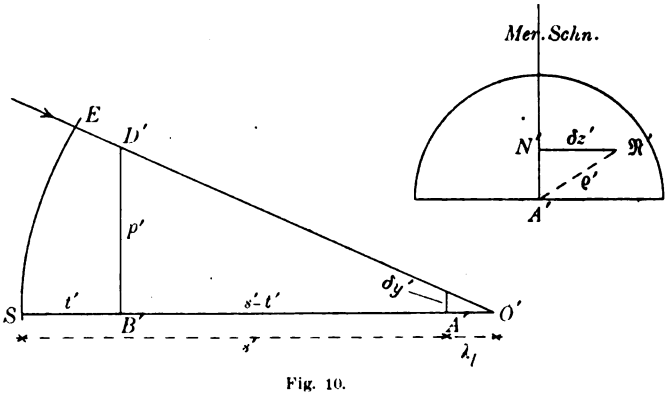


Fig. 10.

$$\delta Y_k' = -\frac{R^2 P}{T^3} S_I \text{ und } \delta Z_k' = -\frac{R^2 Q}{T^3} S_I.$$

wobei $\delta y_k' = A'N'$ die meridionale und $\delta z_k' = N'\mathfrak{N}'$ die sagittale Abweichung des

Durchstoßungspunktes $\mathfrak{P}'$ mit der Ebene A' bedeutet. Der direkte Achsenabstand dieses Punktes $A'\mathfrak{P}' = \varrho'$ ist daher

$$\varrho' = \sqrt{\delta y'^2 + \delta z'^2} = \frac{\sqrt{\delta Y'^2 - \delta Z'^2}}{n' u'}.$$

d. i. nach den soeben mitgeteilten Formeln

$$\varrho' = -\frac{R^3}{T^3}\frac{S_I}{n' u'}.$$

Die sphärische Längenabweichung, die wir durch λ_I bezeichnen wollen, ist dementsprechend nach der Figur bestimmt durch

$$\lambda_I = \frac{s' - t'}{\sqrt{p'^2 + q'^2}} \cdot \varrho',$$

oder, wenn man aus Abschnitt III die Seidelschen Ordinaten einführt,

$$\lambda_I = \frac{T}{R}\frac{\varrho'}{u'} = -\frac{R^2}{T^2}\frac{S_I}{n' u'^2}.$$

In dieser Form habe ich λ_I im V. Abschnitt meiner Beiträge zur Dioptrik direkt gefunden und daraus vice versa die meridionale und sagittale Seitenabweichung abgeleitet.

Die sphärische Abweichung eines achsonomen Strahles ist daher bestimmt durch die erste Seidelsche Summe

$$S_I = \Sigma jJ = \tfrac{1}{2}\Sigma \chi n i (i - i')(i - u'),$$

die somit als Maß der sphärischen Abweichung bezeichnet werden kann. Bei einer einzelnen Fläche ist sie gehoben

1. für $i = i'$,
2. für $i' = u$ oder $i = u'$,
3. für $\chi = 0$ bei beliebigen Flächen.

Im ersten Falle wird sie nach Abbe als aplanatische Fläche der ersten Art, im zweiten als solche der zweiten Art bezeichnet. E. Abbe hat beide Fälle genau behandelt (L. Dippel, Handbuch der allgemeinen Mikroskopie, Braunschweig 1882, S. 49—50), und man muß sich wundern, daß angesehene französische Gelehrte und auch gelehrte deutsche Optiker nichts davon wissen, daß eine Fläche der zweiten Art auch für Strahlen von beliebig großer Neigung, nicht nur innerhalb der Seidelschen Dioptrik aplanatisch ist; man vergl. Vierteljahrsschrift der Astron. Gesellschaft 1901, S. 37.

XVI.

Für meridionale Bündel (Fig. 11) sind die Anfangsordinaten: $y_1 \gtrless 0$, $p_1 \gtrless 0$, $q_1 = 0$, weil der Objektpunkt außerhalb der Achse liegt und die Durchstoßungspunkte mit der Öffnungsebene (E. P.) ebenfalls im allgemeinen außerhalb derselben, aber im Meridianschnitt liegen. Folglich ist die Abweichung der Bildpunktordinaten (nach Gl. 37) bestimmt durch

$$\delta Z_k' = 0,$$

$$\delta Y_k' = -\frac{P^3}{T^3} S_I - \frac{3 P^2 Y}{T^3} S_{II} - \frac{P Y^2}{T^3}(3 S_{III} + \tfrac{1}{2} T^2 S_{IV}) + \frac{Y^3}{T^3} S_V.$$

Den Strahl, für den $p_1 = 0$ ist, der somit durch den Mittelpunkt der E. P. geht.

nennt man den Hauptstrahl oder die Achse dieses Bündels. Die Abweichung desselben, die durch $\delta Y_a'$ bezeichnet sei, ist also

$$\delta Y_a' = \frac{Y^3}{T^3} S_V^{1}).$$

Daraus folgt dann für die Abweichung der übrigen meridionalen Strahlen dieses Bündels von der schiefen Achse

$$\delta Y_k' - \delta Y_{ak}' = -\frac{P^3}{T^3} S_I + \frac{3 P^2 Y}{T^3} S_{II} - \frac{P Y^2}{T^3} (3 S_{III} + \tfrac{1}{2} T^2 \cdot S_{IV}),$$

und wenn das Bündel unendlich eng (ein Büschel) wird,

$$\delta Y_k' - \delta Y_{ak}' = -\frac{P Y^2}{T^3} (3 S_{III} + \tfrac{1}{2} T^2 \cdot S_{IV}).$$

Die Längenabweichung eines meridionalen Strahles ist nun, entsprechend dem parallelen Kegel, zu definieren als der Abstand des Strahlschnittpunktes mit der schiefen Achse (z. B. u in Fig. 11) von der Gaußschen Ebene A'. Wir bezeichnen sie durch $\lambda_{mer} = u A'$. Sie ergibt sich aus der Lateralabweichung ohne weiteres. Denn nach der Figur ist

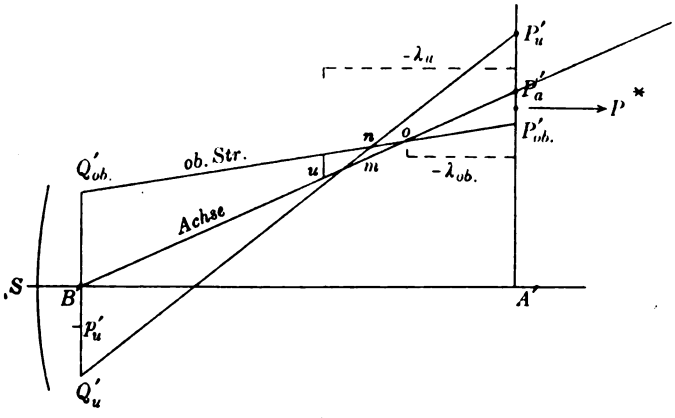


Fig. 11.

$$-\lambda_m = u A' = \frac{s' - t'}{-p'} P_a' P',$$

also

$$\lambda_m = \frac{s' - t'}{p'} (\delta y' - \delta y_a').$$

Führt man die Seidelschen Ordinaten ein, indem man setzt

$$p' = \frac{P}{n' v'}, \quad \delta y' - \delta y_a' = \frac{\delta Y' - \delta Y_a'}{n' u'} \quad \text{und} \quad s' - t' = \frac{T}{n' u' v'},$$

so erhält man schließlich für die meridionale Längenabweichung

$$\lambda_m = -\frac{P^2}{T^2} \frac{S_I}{n' u'^2} + \frac{3 P Y}{T^2} \frac{S_{II}}{n' u'^2} - \frac{Y^2}{T^2} \frac{3 S_{III} + \frac{1}{2} T^2 \cdot S_{IV}}{n' u'^2}.$$

Betrachten wir in diesem Bündel zwei äquidistante Strahlen, deren Anfangsordinate p_1, absolut genommen, den gleichen, doch dem Zeichen nach entgegengesetzten Wert besitzt, und unterscheiden sie als oberen und unteren meridionalen Zonenstrahl, je nachdem p_1 positiv oder negativ ist, so ist

$$\lambda_{ob} = -\frac{P^2}{T^2} \frac{S_I}{n' u'^2} + \frac{3 P Y}{T^2} \frac{S_{II}}{n' u'^2} - \frac{Y^2}{T^2} \frac{3 S_{III} + \frac{1}{2} T^2 \cdot S_{IV}}{n' u'^2},$$

$$\lambda_{unt} = -\frac{P^2}{T^2} \frac{S_I}{n' u'^2} - \frac{3 P Y}{T^2} \frac{S_{II}}{n' u'^2} - \frac{Y^2}{T^2} \frac{3 S_{III} + \frac{1}{2} T^2 \cdot S_{IV}}{n' u'^2}.$$

[1]) Hierzu sei bemerkt, daß $\delta Y_a'$ die Abweichung des Durchstoßungspunktes der schiefen Achse vom idealen Bildpunkt vorstellt; die fünfte Summe kann daher als Maß der Verzeichnung betrachtet werden.

Die Differenz der beiden äquidistanten Strahlen (wir bezeichnen sie im folgenden durch λ_{II}) ist also

$$\lambda_{II} = \lambda_{ob} - \lambda_{unt} = + \frac{6PY}{T^2} \frac{S_{II}}{n' u'^2} = uo \quad \text{(Fig. 11)}.$$

Die zweite Seidelsche Summe ist danach, ihrer geometrischen Bedeutung nach, das Maß für den axialen Abstand der Strahlschnittpunkte äquidistanter Strahlen mit der schiefen Achse.

Schon aus den beiden Gleichungen für λ_{ob} und λ_{unt} ist zu ersehen, daß äquidistante schiefe Strahlen verschieden große Längenabweichung haben. Während also bei dem achsonomen Kegel äquidistante Strahlen, weil alles um die optische Achse gleich ist, dieselbe stets in einem Punkte schneiden, ist dies bei schiefen Bündeln im allgemeinen nicht der Fall; hier schneiden, abgesehen von unendlich engen Büscheln, solche Strahlen die schiefe Achse in verschiedenen Punkten (o und u). Und infolgedessen ist ihr axialer Abstand λ_{II} im allgemeinen nicht gleich Null.

Ist dieser Fehler (λ_{II}) nicht gehoben, so zeigt sich, wie aus der Figur ersichtlich, an der Stelle der geringsten sphärischen Zerstreuung eine kleine radiale Linie um (statt eines Punktes), die unsymmetrisch zu der schiefen Achse liegt. Man bezeichnet sie als äußere oder innere Koma des meridionalen Bündels, je nachdem sie nach dem Rande oder nach der Mitte der Gaußschen Ebene A' gerichtet ist. Ich werde dementsprechend $\lambda_{II} = \lambda_{ob} - \lambda_{unt} = uo = \frac{6PY}{T^2} \frac{S_{II}}{n' u'^2}$ im folgenden als komatische Längenabweichung äquidistanter meridionaler Strahlen von den übrigen Abweichungen windschiefer Strahlen unterscheiden, so daß S_{II} sich auch als Maß der komatischen Abweichung definieren läßt. Sie ist bei einer einzelnen Fläche, wegen $S_{II} = \frac{1}{2} \Sigma \chi n (i - i')(i' - u) \cdot j$, gehoben

1. bei aplanatischen Flächen der ersten Art.
2. bei solchen Flächen der zweiten Art,
3. für $j = 0$ bei sonst beliebigen Flächen.

Eine Fläche ist also, abgesehen von den ersten beiden Sonderfällen, frei von Koma, wenn der Einfallswinkel des Blendenstrahles (j) gleich Null ist. Solche Flächen mögen kurz als für den Blendenstrahl ablenkungsfrei bezeichnet werden.

XVII.

Um die Bedeutung von S_{III} und S_{II} zu erkennen, betrachten wir zwei Büschel, deren Wichtigkeit für die Abbildung schon seit der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts bekannt ist, ein unendlich enges meridionales und ein ebensolches sagittales Büschel ($B'C'm$ und $B'\mathfrak{B}'s$ in Fig. 12), deren Spitzen m und s als meridionaler und sagittaler Brennpunkt bezeichnet werden. Bei diesen ist p_1 bzw. q_1 unendlich klein, so daß in Gl. 37) die reduzierten Öffnungsordinaten ebenfalls unendlich

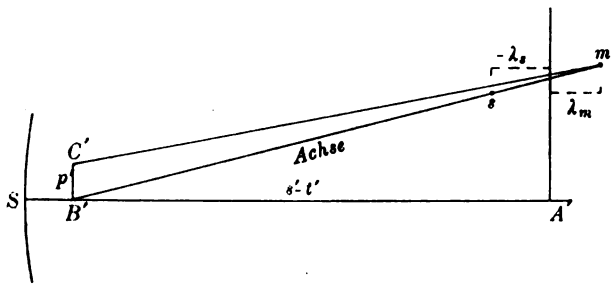


Fig. 12.

klein sind, und ihre höheren Potenzen vernachlässigt werden können. Man erhält daher für diese Büschel

$$\delta y'_k = -\frac{PY^2}{T^3}\frac{3S_{III} + \frac{1}{2}T^2 S_{IV}}{n'_k u'_k} + \frac{Y^3}{T^3}\frac{S_V}{n'_k u'_k},$$

$$\delta y_k' - \delta y_{ak}' = -\frac{PY^2}{T^3}\frac{3S_{III} + \frac{1}{2}T^2 \cdot S_{IV}}{n'_k u'_k},$$

$$\delta z_k' = -\frac{QY^2}{T^3}\frac{S_{III} + \frac{1}{2}T^2 \cdot S_{IV}}{n'_k u'_k}.$$

Die Längenabweichung der beiden Brennpunkte m und s (λ_m und λ_s) ist daher

$$\lambda_m = \frac{s' - t'}{p'}(\delta y' - \delta y_a'),$$

$$\lambda_s = \frac{s' - t'}{q'} \cdot \delta z',$$

d. i., wegen $s' - t' = T : n'u'v'$, $p' = P : n'v'$ und $q' = Q : n'v'$.

$$\lambda_m = -\frac{Y^2}{T^2}\frac{3S_{III} + \frac{1}{2}T^2 \cdot S_{IV}}{n'u'^2},$$

$$\lambda_s = -\frac{Y^2}{T^2}\frac{S_{III} + \frac{1}{2}T^2 \cdot S_{IV}}{n'u'^2}.$$

Es zeigt sich also auch in diesem Falle, daß die Abweichungen selbst von zwei verschiedenen Summen abhängig sind, ihre Differenz

$$\lambda_{III} = \lambda_m - \lambda_s = -\frac{2Y^2}{T^2}\frac{S_{III}}{n'u'^2}$$

dagegen nur von einer Summe abhängt. Die dritte Seidelsche Summe ist somit das Maß der astigmatischen Differenz; denn der Fehler $\lambda_{III} = \lambda_m - \lambda_s$ wird so wohl allgemein genannt.

Was die vierte Summe anlangt, so ergibt sich aus den Gleichungen für λ_m und λ_s, nach Elimination von S_{III},

$$\lambda_m - 3\lambda_s = -\frac{Y^2}{T^2}\frac{S_{IV}}{n'u'^2},$$

oder, wenn man für die Differenz das Zeichen λ_{IV} einführt,

$$\lambda_{IV} = \lambda_m - 3\lambda_s = -\frac{Y^2}{T^2}\frac{S_{IV}}{n'u'^2}.$$

Diese Differenz soll, entsprechend $\lambda_m - \lambda_s$, als die (mit den Gewichten 1 und 3) reduzierte astigmatische Differenz bezeichnet werden; ihr Maß ist also die vierte Seidelsche Summe $S_{IV} = \sum_r^N$.

Sind beide astigmatische Differenzen aufgehoben, also $S_{III} = S_{IV} = 0$, so wird nach den soeben mitgeteilten Formeln $\lambda_m = \lambda_s = 0$. Außer dem Astigmatismus ist daher in diesem Falle auch die Bildfeldkrümmung korrigiert.

Besonders wichtig für die Praxis ist die eigentliche astigmatische Differenz $\lambda_{III} = \lambda_m - \lambda_s$. Wegen

$$S_{III} = \sum_1^k \chi J \frac{j^2}{i^2} = \frac{1}{2}\sum_1^k \chi n^2 N(i' - u)j^2$$

verschwindet dieser Fehler in folgenden Fällen:

1. bei aplanatischen Flächen der zweiten Art ($i' = u$),
2. bei für den Blendenstrahl ablenkungsfreien Flächen ($j = 0$).

Bei den aplanatischen Flächen der zweiten Art ist somit die sphärische, die komatische und die astigmatische, bei für den Blendenstrahl ablenkungsfreien Flächen die komatische und die astigmatische Differenz gehoben.

Dieser Satz ist deshalb für die Praxis wichtig, weil man verschiedene, auch praktisch brauchbare, komatisch und astigmatisch korrigierte Objektive und Okulare aus solchen Flächen konstruieren kann, deren chromatische Abweichung allerdings durch Verbindung zweier Gläser von gleicher Brechung und verschiedener Dispersion in bekannter Weise gehoben werden muß. In Fig. 13 sind zwei komatisch und astigmatisch korrigierte Doppelokulare von 10 mm und ein konkaves Okular von — 40 mm Brennweite in natürlicher Größe abgebildet, die ich selbst vor über 20 Jahren berechnet habe.

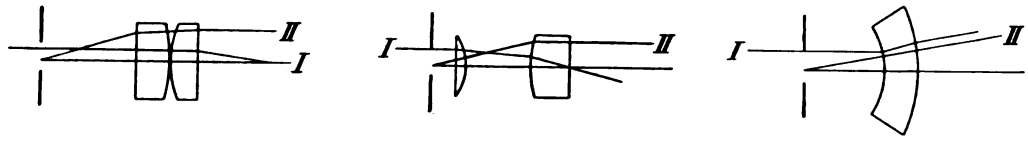


Fig. 13.

Im allgemeinen aber ist es nötig, um die Fehlertheorie für die konstruktive Optik nutzbar zu machen und den Gegensatz zwischen Theorie und Praxis zu überbrücken, die Seidelschen Formeln noch weiter zu entwickeln, die Elemente des zweiten Hilfsstrahles (j_c) zu eliminieren und die Brennweite der Linsen einzuführen.

XVIII.

Um die Einfallswinkel des Blendenstrahles durch die Elemente des achsonomen auszudrücken, benutzen wir die Werte der Seidelschen Summen in Abschnitt XIV:

$$S_I = \sum_1^k \chi J,\quad S_{II} = \sum_1^k \chi J \frac{j}{i},\quad S_{III} = \sum_1^k \chi J \frac{j^2}{i^2},$$

$$S_{IV} = \sum_1^k \frac{N}{r},\quad S_V = \sum_1^k \chi J \frac{j^3}{i^3} + \tfrac{1}{2} T^2 \sum_1^k \frac{N}{r}\frac{j}{i}.$$

Wir haben also das Verhältnis $j:i$ als Funktion der Winkel und Einfallshöhen des ersten Hilfsstrahles zu bestimmen.

Nun sind die Kugelwinkel zwischen Einfallslot und Achse bestimmt durch

$$u + i = \frac{\chi}{r} \quad \text{und} \quad v + j = \frac{\psi}{r}.$$

Daraus folgt, nach Elimination von r,

$$v = (u + i)\frac{\psi}{\chi} - j.$$

Ein zweiter Wert von v ergibt sich aus der zweiten Form der Seidelschen Eliminationsgleichung in Gl. 6), nämlich

$$v = \frac{T}{nri} + u\frac{j}{i},$$

und man erhält, nach Komparation derselben, die folgende Beziehung für das gesuchte Verhältnis:

$$\frac{j}{i} = \frac{\psi}{\chi} - \frac{T}{nri(u+i)} = \frac{\psi}{\chi} - \frac{T}{n\chi i}.$$

Hierin ist noch das Verhältnis der beiden Einfallshöhen $(\psi:\chi)$ als Funktion der Elemente des achsonomen Hilfsstrahles auszudrücken. Wie sich aus der folgenden Figur direkt ergibt, ist $\chi_{c+1}=\chi_c-u_c'\cdot\partial_c$, $\psi_{c+1}=\psi_c-v_c'\cdot\partial_c$, also (Fig. 14)

$$\frac{\psi_{c+1}}{\chi_{c+1}}=\frac{\psi_c-v_c'\cdot\partial_c}{\chi_c-u_c'\cdot\partial_c}.$$

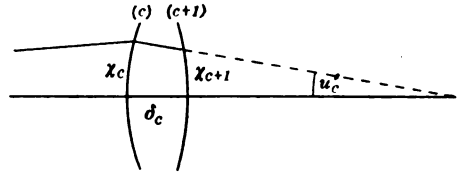


Fig. 14.

Nach Ausführung der Division bis zum zweiten Gliede wird dann ferner

$$\frac{\psi_{c+1}}{\chi_{c+1}}=\frac{\psi_c}{\chi_c}-\frac{\partial_c}{\chi_c}\frac{v_c'\chi_c-u_c'\psi_c}{\chi_c-u_c'\cdot\partial_c}$$

$$=\frac{\psi_c}{\chi_c}-\frac{\partial_c}{\chi_c}\frac{v_c'\chi_c-u_c'\psi_c}{\chi_{c+1}},$$

oder, wegen $T=n'u'v'(s'-t')=n'(v'\chi-u'\psi)$,

$$\frac{\psi_{c+1}}{\chi_{c+1}}-\frac{\psi_c}{\chi_c}=-T\frac{\partial_c}{n_c'\chi_c\chi_{c+1}}.$$

Läßt man in dieser Rekursionsformel den Index c die Werte 1 bis $c-1$ durchlaufen und addiert die Gleichungen, so ergibt sich weiter

$$\frac{\psi_c}{\chi_c}-\frac{\psi_1}{\chi_1}=-T\left(\frac{\partial_1}{n_1'\chi_1\chi_2}+\frac{\partial_2}{n_2'\chi_2\chi_3}+\frac{\partial_3}{n_3'\chi_3\chi_4}+\cdots+\frac{\partial_{c-1}}{n_{c-1}'\chi_{c-1}\chi_c}\right),$$

oder, wenn man noch der Kürze wegen setzt

$$\mathfrak{S}_c=\frac{\partial_1}{n_1'\chi_1\chi_2}+\frac{\partial_2}{n_2'\chi_2\chi_3}+\frac{\partial_3}{n_3'\chi_3\chi_4}+\cdots+\frac{\partial_{c-1}}{n_{c-1}'\chi_{c-1}\chi_c},$$

$$\frac{\psi_c}{\chi_c}=\frac{\psi_1}{\chi_1}-T\cdot\mathfrak{S}_c,\ \text{worin } \psi_1:\chi_1 \text{ beliebig angenommen werden kann.}$$

Setzt man schließlich diesen Wert in die Gleichung für $j:i$ ein, so erhält man einen Ausdruck von der Form

$$\frac{j_c}{i_c}=\frac{\psi_1}{\chi_1}-T\cdot\beta_c,$$

worin die Hilfsgröße β_c bestimmt ist durch

$$\beta_c=\frac{1}{n_c\chi_c i_c}+\mathfrak{S}_c.$$

Damit ist $j_c:i_c$ als reine Funktion der Elemente des achsonomen Hilfsstrahles dargestellt, weil $\psi_1:\chi_1$ willkürlich angenommen werden kann.

Die Seidelschen Summen ergeben sich daher nach den Formeln im Anfange dieses Abschnitts in der Gestalt

$$S_I=\sum_1^k\chi J,\qquad S_{II}=\frac{\psi_1}{\chi_1}S_I-T\cdot\sum_1^k\beta\cdot\chi J,$$

$$S_{III}=\left(\frac{\psi_1}{\chi_1}\right)^2S_I-2T\frac{\psi_1}{\chi_1}\sum_1^k\beta\cdot\chi J+T^2\sum_1^k\beta^2\cdot\chi J,$$

$$S_{IV}=\sum_1^k\frac{N}{r},$$

$$S_V=\left(\frac{\psi_1}{\chi_1}\right)^3S_I-3T\left(\frac{\psi_1}{\chi_1}\right)^2\sum_1^k\beta\cdot\chi J+3T^2\frac{\psi_1}{\chi_1}\left(\sum_1^k\beta^2\cdot\chi J+\tfrac{1}{6}S_{IV}\right)$$

$$-T^3\left(\sum_1^k\beta^3\cdot\chi J+\tfrac{1}{2}\sum_1^k\beta\cdot\frac{N}{r}\right).$$

Dafür kann auch kürzer geschrieben werden:

$$S_I = \sum_1^k \chi J, \qquad S_{II} = \frac{\psi_1}{\chi_1} S_I - T \sum_1^k \beta \cdot \chi J,$$

$$S_{III} = -\left(\frac{\psi_1}{\chi_1}\right)^2 S_I + 2\frac{\psi_1}{\chi_1} S_{II} + T^2 \sum_1^k \beta^2 \cdot \chi J,$$

$$S_{IV} = \sum_1^k \frac{N}{r},$$

$$S_V = \left(\frac{\psi_1}{\chi_1}\right)^3 S_I - 3\left(\frac{\psi_1}{\chi_1}\right)^2 S_{II} + 3\frac{\psi_1}{\chi_1}(S_{III} + \tfrac{1}{6} T^2 S_{IV}) - T^3\left(\sum_1^k \beta^3 \cdot \chi J + \tfrac{1}{2} \sum_1^k \beta \frac{N}{r}\right),$$

wobei die Hilfsgröße β_c nach der obigen Formel zu berechnen ist.

Das ist die erste Formelreihe, nach der sich optische Systeme korrigieren lassen, vorausgesetzt, daß eine richtige Idee (die der Rechner haben muß, wenn er überhaupt ein neues Objektiv berechnen soll) von Anfang an vorhanden ist, und infolgedessen für alle Größen (für β_c besonders) Näherungswerte ermittelt werden können, und daß man ferner, falls die ursprüngliche Idee sich nicht bewährt, sich die Mühe nicht verdrießen läßt, den Plan, wenn nötig, unermüdlich abzuändern.

Auch die tatonnierende Berechnung kann nur zu einem Ziele führen, wenn der Rechner von richtigen Gesichtspunkten ausgeht, und es über sich gewinnt, dieselben erforderlichenfalls in mühsamer Arbeit immer wieder zu revidieren. Und es ist noch sehr die Frage, auf welchem Wege sich das Ziel bequemer erreichen läßt, ob auf dem Wege rein mechanischer Berechnung oder strenger analytischer Behandlung, vorausgesetzt, daß man die Formeln der Seidelschen Dioptrik ebenso beherrscht wie die elementarsten Durchrechnungsformeln.

In dieser Hinsicht kann ich Seidel nicht beipflichten, wenn er sagt, daß wohl niemand auf den Gedanken kommen würde, Objektive nach solchen Formeln zu berechnen.

XIX.

Bequemere Ausdrücke, die sich zur Berechnung von Objektiven besonders eignen, ergeben sich, wenn man die letzteren ersetzt durch äquivalente Objektive aus dünnen, durch bestimmte Zwischenräume getrennte Linsen. Zu diesen Formeln gelangt man durch die folgende Betrachtung. Nach dem vorigen Abschnitt ist das Verhältnis der Einfallswinkel

$$\frac{j}{i} = \frac{\psi}{\chi} - \frac{T}{n\chi i}.$$

Die Seidelschen Summen (im Anfang von Abschnitt XVIII) verwandeln sich nach Einführung dieses Wertes in

$$S_I = \Sigma \chi J, \qquad S_{II} = \Sigma \chi J \cdot \frac{\psi}{\chi} - T \sum' \frac{J}{ni},$$

$$S_{III} = \Sigma \chi J \cdot \frac{\psi^2}{\chi^2} - 2T \sum' \frac{J}{ni}\frac{\psi}{\chi} + T^2 \sum' \frac{J}{n^2 \chi i^2},$$

$$S_{IV} = \sum' \frac{N}{r},$$

$$S_V = \Sigma \chi J \cdot \frac{\psi^3}{\chi^3} - 3T \sum' \frac{J}{ni}\frac{\psi^2}{\chi^2} + 3T^2\left(\sum' \frac{J}{n^2\chi i^2}\frac{\psi}{\chi} + \frac{1}{6}\sum' \frac{N}{r}\frac{\psi}{\chi}\right) - T^3\left(\sum' \frac{J}{n^3\chi^2 i^3} + \frac{1}{2}\sum' \frac{N}{r}\frac{1}{n\chi i}\right).$$

Hierin sind nun die Summanden für die Vorder- und die Hinterflächen zu trennen, wobei die Elemente der letzteren durch deutsche Schrift, z. B. $\mathfrak{J}$, i, r usw., von denen der ersteren unterschieden werden sollen. Man erhält dann, wenn der Exponent des Glases durch $\bar{n}$ bezeichnet und beachtet wird, daß jede Linse von Luft umgeben zu denken, also an der Vorderfläche $n=1$, $n'=\bar{n}$, an der Hinterfläche $\mathfrak{n}=\bar{n}$, $\mathfrak{n}'=1$ zu setzen ist, und daß die Einfallshöhen invariant sind,

$$S_I = \Sigma\chi\,(J+\mathfrak{J}),$$

$$S_{II} = \Sigma\chi\frac{\psi}{\chi}(J+\mathfrak{J}) - T\sum\left(\frac{J}{i}+\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{i}'}\right),$$

$$S_{III} = \Sigma\chi\frac{\psi^2}{\chi^2}(J+\mathfrak{J}) - 2T\sum\frac{\psi}{\chi}\left(\frac{J}{i}+\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{i}'}\right) + T^2\sum\frac{1}{\chi}\left(\frac{J}{i^2}+\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{i}'^2}\right),$$

$$S_{IV} = \sum\left(\frac{N}{r}+\frac{\mathfrak{N}}{\mathfrak{r}}\right) = \sum\frac{\varphi}{\bar{n}}, \quad \text{wegen } \mathfrak{N}=-N,$$

$$S_V = \Sigma\chi\frac{\psi^3}{\chi^3}(J+\mathfrak{J}) - 3T\sum\frac{\psi^2}{\chi^2}\left(\frac{J}{i}+\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{i}'}\right) + 3T^2\sum\frac{1}{\chi}\frac{\psi}{\chi}\left(\frac{J}{i^2}+\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{i}'^2}\right)$$
$$+\tfrac{1}{2}T^2\sum\frac{\psi}{\chi}\frac{\varphi}{\bar{n}} - T^3\sum\frac{1}{\chi^2}\left[\left(\frac{J}{i^3}+\frac{\mathfrak{J}}{\mathfrak{i}'^3}\right)+\tfrac{1}{2}N\chi\left(\frac{1}{ri}-\frac{1}{\mathfrak{r}\mathfrak{i}'}\right)\right].$$

Wir bestimmen nun in diesen Gleichungen die fünf von i und $\mathfrak{i}'$ abhängigen Binome, z. B. $J+\mathfrak{J}$, in der Weise, daß wir, ausgehend von dem zweiten Gliede $\mathfrak{J}$, dieses auf die Form $\mathfrak{J}=-J+\ldots$ zu bringen suchen, so daß sich die Binome daraus von selbst ergeben.

Das erste Binom $(J+\mathfrak{J})$.

Nach Abschnitt XIV ist für achsennahe Strahlen

$$\mathfrak{J} = \tfrac{1}{2}\mathfrak{i}'(\mathfrak{i}-\mathfrak{i}')(\mathfrak{i}'-\mathfrak{u}) = -\frac{\bar{n}-1}{2\bar{n}}\mathfrak{i}'^2(\mathfrak{i}'-\mathfrak{u}).$$

Nun bleibt bei dünnen Linsen die Ablenkung für alle Strahlen gleicher Einfallshöhe unverändert, weil das brechende Linsenelement ein spitzes Prisma darstellt, dessen Ablenkung $(\bar{a})$ bekanntlich durch $\bar{a}=(\bar{n}-1)\bar{\gamma}$, wenn $\bar{\gamma}$ der brechende Winkel ist, bestimmt wird; sie ist daher von der Richtung des einfallenden Strahles unabhängig. Dasselbe gilt von der Ablenkung dünner Linsen; danach ist bei diesen die Ablenkung eines beliebigen gleich der des parallelen Strahles, d. h.

$$\bar{a} = \frac{\chi}{f'} = \varphi\chi.$$

Andererseits ist

$$\bar{a} = (i-i')+(\mathfrak{i}-\mathfrak{i}') = \frac{\bar{n}-1}{\bar{n}}(i-\mathfrak{i}').$$

Daraus folgt, nach Komparation der beiden Werte,

$$\mathfrak{i}' = i - \frac{\bar{n}\varphi\chi}{\bar{n}-1}.$$

Ferner ist

$$\mathfrak{u} = u' = i - i' + u = i - (i'-u).$$

Nach Einführung dieser Werte in die eingangs mitgeteilte Gleichung für $\mathfrak{J}$ erhalten wir

$$\mathfrak{J} = -\frac{\bar{n}-1}{2\bar{n}}\left(i-\frac{\bar{n}\varphi\chi}{\bar{n}-1}\right)^2\left(i'-u-\frac{\bar{n}\varphi\chi}{\bar{n}-1}\right).$$

Bei der Ausrechnung empfiehlt es sich, die Abkürzungen

$$\mathfrak{P} = \frac{\bar{n}\varphi\chi}{\bar{n}-1} \quad \text{und} \quad \mathfrak{Q} = \frac{2\bar{n}}{\bar{n}-1}$$

einzuführen. Wir erhalten dann

$$\mathfrak{J} = -\frac{1}{\mathfrak{Q}}(i-\mathfrak{P})^2(i'-u-\mathfrak{P}),$$

und nach Ausführung der Operationen ergibt sich

$$\mathfrak{J} = -\frac{i^2(i'-u)}{\mathfrak{Q}} + \frac{\mathfrak{P}}{\mathfrak{Q}}\frac{\bar{n}+2}{\bar{n}}i^2 - \frac{\mathfrak{P}}{\mathfrak{Q}}\left(2u + \frac{2\bar{n}+1}{\bar{n}}\mathfrak{P}\right)i + \frac{\mathfrak{P}^2}{\mathfrak{Q}}(u+\mathfrak{P}),$$

d. i. nach Einführung der Werte von $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$

$$\mathfrak{J} = -J + \frac{\bar{n}+2}{2\bar{n}}\varphi\chi\cdot i^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{2}{s} + \frac{2\bar{n}+1}{\bar{n}-1}\varphi\right)\varphi\chi^2\cdot i + \frac{1}{2}\frac{\bar{n}}{\bar{n}-1}\left(\frac{1}{s} + \frac{\bar{n}}{n-1}\varphi\right)\varphi^2\chi^3.$$

Danach ergibt sich für das erste Binom ein Ausdruck von der Form

$$J + \mathfrak{J} = \frac{1}{\chi}(Ai^2 - Bi + C).$$

worin die Hilfsgrößen die folgenden Werte haben:

$$A = \frac{\bar{n}+2}{2\bar{n}}\varphi\chi^2, \quad B = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{s} + \frac{2\bar{n}+1}{\bar{n}-1}\varphi\right)\varphi\chi^3.$$

$$C = \frac{1}{2}\frac{\bar{n}}{\bar{n}-1}\left(\frac{1}{s} + \frac{\bar{n}}{\bar{n}-1}\varphi\right)\varphi^2\chi^4.$$

Das zweite Binom $\left(\frac{J}{i} + \frac{\mathfrak{J}}{i'}\right)$.

Auch hier ist auszugehen vom zweiten Gliede. Aus $\mathfrak{J} = \frac{1}{2}i'(i-i')(i'-u)$ ergibt sich

$$\frac{\mathfrak{J}}{i'} = -\frac{\bar{n}-1}{2\bar{n}}i'(i'-u) = -\frac{1}{\mathfrak{Q}}i'(i'-u),$$

während das erste Glied dementsprechend bestimmt ist durch

$$\frac{J}{i} = +\frac{1}{\mathfrak{Q}}i(i'-u).$$

Wie früher ist nun $i' = i - \mathfrak{P}$ in die Gleichung für $\mathfrak{J} : i'$ einzuführen. Dann erhält man

$$\frac{\mathfrak{J}}{i'} = -\frac{1}{\mathfrak{Q}}(i-\mathfrak{P})(i'-u-\mathfrak{P}).$$

Löst man die Klammern auf und setzt die Werte für die Hilfsgrößen ein, so wird

$$\frac{\mathfrak{J}}{i'} = -\frac{J}{i} + \frac{\bar{n}+1}{2\bar{n}}\varphi\chi\cdot i - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{s} + \frac{\bar{n}}{\bar{n}-1}\varphi\right)\varphi\chi^2$$

$$\frac{J}{i} + \frac{\mathfrak{J}}{i'} = Gi - H,$$

worin die Größen G und H die Werte haben

$$G = \frac{\bar{n}+1}{2\bar{n}}\varphi\chi, \quad H = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{s} + \frac{\bar{n}}{\bar{n}-1}\varphi\right)\varphi\chi^2.$$

Das dritte Binom $\left(\frac{J}{i^2} + \frac{\mathfrak{J}}{i'^2}\right)$.

Dieses wird aus der obigen Entwicklung unmittelbar erhalten. Man findet

$$\frac{J}{i^2} = \frac{\bar{n}-1}{2\bar{n}}(i'-u),$$

$$\frac{\mathfrak{J}}{i'^2} = -\frac{\bar{n}-1}{2\bar{n}}(i'-u-\mathfrak{P}) = -\frac{J}{i^2} + \frac{n-1}{2\bar{n}}\mathfrak{P},$$

also

$$\frac{J}{i^2} + \frac{\mathfrak{J}}{i'^2} = \frac{\bar{n}-1}{2n}\mathfrak{P} = \tfrac{1}{2}\varphi\chi.$$

Das vierte und fünfte Binom $\left(\frac{J}{i^3} + \frac{\mathfrak{J}}{i'^3},\ \frac{1}{ri} - \frac{1}{\mathfrak{r}i'}\right)$.

Bei Entwicklung dieser verfährt man besser anders, indem man jedes Glied für sich bestimmt. Aus dem obigen ergibt sich

$$\frac{J}{i^3} = \frac{\bar{n}-1}{2\bar{n}}\left(\frac{1}{\bar{n}} - \frac{u}{i}\right),\quad \frac{\mathfrak{J}}{i'^3} = -\frac{\bar{n}-1}{2\bar{n}}\left(1 - \frac{\mathfrak{u}}{i'}\right),$$

$$\frac{J}{i^3} + \frac{\mathfrak{J}}{i'^3} = -\frac{n-1}{2\bar{n}}\left(\frac{\bar{n}-1}{\bar{n}} + \frac{u}{i} - \frac{\mathfrak{u}}{i'}\right),$$

und, wegen $\chi : r = u + i$, $\chi : \mathfrak{r} = \mathfrak{u} + \mathfrak{i}$,

$$\frac{1}{ri} = \frac{u+i}{\chi i} = \frac{1}{\chi}\left(\frac{u}{i} + 1\right),\quad \frac{1}{\mathfrak{r}i'} = \frac{\mathfrak{u}+\mathfrak{i}}{\chi i'} = \frac{1}{\chi}\left(\frac{\mathfrak{u}}{i'} + \frac{1}{\bar{n}}\right),$$

$$\frac{1}{ri} - \frac{1}{\mathfrak{r}i'} = \frac{1}{\chi}\left(\frac{\bar{n}-1}{\bar{n}} + \frac{u}{i} - \frac{\mathfrak{u}}{i'}\right).$$

Setzt man diese Werte in die eckige Klammer der Gleichung für die fünfte Seidelsche Summe ein, so heben sich die Glieder sämtlich auf, die Klammer wird gleich Null, und das mit T^3 behaftete Glied verschwindet und damit auch die beiden letzten Binome.

XX.

Die im Anfang des vorigen Abschnitts für die Seidelschen Summen gefundenen Ausdrücke lauten also bei Systemen aus sehr dünnen, durch beliebig große Zwischenräume getrennten Linsen, nach Einführung der Werte für die ersten drei Binome, folgendermaßen:

$$S_I = \Sigma(Ai^2 - Bi + C),$$

$$S_{II} = \sum\frac{\psi}{\chi}(Ai^2 - Bi + C) - T\Sigma(Gi - H),$$

$$S_{III} = \sum\frac{\psi^2}{\chi^2}(Ai^2 - Bi + C) - 2T\sum\frac{\psi}{\chi}(Gi - H) + \tfrac{1}{2}T^2\cdot\Sigma\varphi,$$

$$S_{IV} = \sum\frac{\varphi}{n},$$

$$S_V = \sum\frac{\psi^3}{\chi^3}(Ai^2 - Bi + C) - 3T\sum\frac{\psi^2}{\chi^2}(Gi - H) + \tfrac{1}{2}T^2\sum\frac{\psi}{\chi}\frac{3n+1}{n}\varphi,$$

wobei man nacheinander zu berechnen hat

$$A = \frac{n+2}{2n}\varphi\chi^2,\quad B = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{s} + \frac{2n+1}{n-1}\varphi\right)\varphi\chi^3,$$

$$C = \frac{1}{2}\frac{n}{n-1}\left(\frac{1}{s} + \frac{n}{n-1}\varphi\right)\varphi^2\chi^4,$$

$$G = \frac{n+1}{2n}\varphi\chi,\quad H = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{s} + \frac{n}{n-1}\varphi\right)\varphi\chi^2.$$

Hierin ist noch das Verhältnis der Einfallshöhen $(\psi' : \chi)$ durch die Luftabstände der Linsen, die durch Δ_1, Δ_2, Δ_3 usw. bezeichnet werden mögen, und die Einfallshöhen des parallelen Strahles zu bestimmen. Dies geschieht nach einer Formel, die wir schon in Abschnitt XVIII für Systeme aus k Flächen gefunden haben. Denn, wie leicht zu sehen, ist nach dieser

$$\frac{\psi'_2}{\chi_2} = \frac{\psi'_1}{\chi_1} - T\frac{\Delta_1}{\chi_1\chi_2}, \quad \frac{\psi'_3}{\chi_3} = \frac{\psi'_2}{\chi_2} - T\frac{\Delta_2}{\chi_2\chi_3}.$$
$$\frac{\psi'_4}{\chi_4} = \frac{\psi'_3}{\chi_3} - T\frac{\Delta_3}{\chi_3\chi_4} \text{ usw.}$$

also nach Summation dieser Gleichungen

$$\frac{\psi'_c}{\chi_c} = \frac{\psi'_1}{\chi_1} - T\left(\frac{\Delta_1}{\chi_1\chi_2} + \frac{\Delta_2}{\chi_2\chi_3} + \frac{\Delta_3}{\chi_3\chi_4} + \ldots + \frac{\Delta_{c-1}}{\chi_{c-1}\chi_c}\right).$$

Nach den obigen Formeln sind vielfach optische Systeme aus äquivalenten Linsen berechnet worden, z. B. Fernrohr-, Petzval-, Taylorobjektive, namentlich von K. Schwarzschild (Untersuchungen zur geometrischen Optik, Berlin 1905, III, S. 30 bis 54).

Über einige Verbesserungen des Kartierungsverfahrens bei stereophotogrammetrischen Arbeiten.

Von
Dr. C. Pulfrich in Jena.
(Mitteilung aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiss.)

Für die Ermittelung der Lage und der Höhe eines im Stereokomparator gemessenen Punktes habe ich im Jahre 1903 ein graphisches Verfahren[1]) angegeben, das mit den inzwischen bewirkten Vervollkommnungen[2]) gegenwärtig bei stereophotogrammetrischen Terrainaufnahmen fast allgemein im Gebrauch ist.

Vor dem Rechen-Verfahren hat das graphische den Vorzug der größeren Bequemlichkeit und Schnelligkeit. Auch vollzieht sich der Übergang vom Stereokomparator zum Zeichenbrett und umgekehrt in einer Weise, die das Arbeiten am Zeichenbrett der Arbeit am Stereokomparator sehr viel näher bringt, als wenn der Übergang auf dem Umwege über die Rechnung erfolgen würde.

Auch an Genauigkeit läßt das graphische Auftragverfahren nichts zu wünschen übrig. Verlangt wird aber (s. Fig. 1), daß der Schnittpunkt S, welchen das auf eine bestimmte Parallaxe a eingestellte Lineal L_1 mit der Linie NN bildet, jedesmal mit der allergrößten Sorgfalt ermittelt wird, eine Forderung, die störend empfunden wird, wenn hintereinander sehr viele Schnittpunkte zu bestimmen sind. Ferner ist die Linie NN schon nach kurzer Zeit mit vielen unregelmäßig verteilten Schnittlinien überdeckt. Die Übersicht wird dadurch gestört, und es entstehen leicht Verwechselungen. Eine Unterscheidung der einzelnen Schnittpunkte durch die daneben geschriebene Parallaxe ist auch nicht immer durchzuführen.

Eine Vermeidung dieser Störungen ist aber leicht in folgender Weise möglich. Man trägt auf den Plan in der Richtung der optischen Achse einen nach gleichen

[1]) *Diese Zeitschr. 23. S. 328. 1903.*
[2]) *Arch. f. Photogrammetrie 2. S. 75. 1910.*

Intervallen der Parallaxe fortschreitenden Entfernungsmaßstab auf, beziffert ihn aber nicht nach Entfernungen, sondern nach den zugehörigen Parallaxen. So entsteht ein Parallaxenmaßstab, dessen Intervalle mit zunehmender Entfernung immer größer werden. In Fig. 2 ist ein solcher Maßstab (1 : 1000) für die Brennweite $f = 125{,}43$ mm und für eine Basis $B = 35$ m angegeben. Die Zunahme der Parallaxe beträgt — abgesehen von den ganz nahen Entfernungen — 0,1 mm. Wie man erkennt, ist die Zunahme der Intervalle von einem Intervall zum nächstfolgenden so gering, daß die Zehntel eines Intervalles sehr nahe als identisch mit der gleichen Anzahl von hundertstel mm Parallaxe angesehen werden können. Die Eintragung einer auf 0,01 mm genau gemessenen Parallaxe in den Entfernungsmaßstab kann daher ohne weiteres und mit vollkommen ausreichender Genauigkeit durch Schätzung erfolgen.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, läßt man zweckmäßig für ganz nahe Entfernungen den 0,1 mm-Maßstab in den 0,5 mm-Maßstab und schließlich in den 1 mm-Maßstab übergehen.

Das Verfahren bedeutet einen nicht geringen Gewinn an Zeit und Arbeitskraft. Denn der hohe Grad der Aufmerksamkeit, deren sich der Zeichner bisher bei jeder gemessenen Parallaxe zu befleißigen hatte, bleibt jetzt auf die vorbereitende Arbeit der Herstellung einer beschränkten Anzahl von Strichen beschränkt. Auch erfährt der Maßstab die Bestätigung seiner Richtigkeit schon gleich bei seiner Herstellung durch die Stetigkeit, mit der die Größe der Intervalle sich ändert.

Fängt man dann mit dem Stereokomparator zu messen an, so geht die Arbeit am Zeichenbrett sehr schnell vonstatten. Man überträgt nach Augenmaß durch einen Bleistiftstrich die Lage der gemessenen Parallaxe in den Parallaxenmaßstab, stellt das Dreieck auf den Strich ein und ebenso das Schwenklineal L_1 der Reihe nach auf die Ablesungen am x_1- und y_1-Maßstab des Stereokomparators. Alsdann erhält man sofort die Lage und die Höhe des gemessenen Punktes, ohne auch nur eine einzige Hilfslinie ziehen zu müssen. Man kann also jetzt schnell von einer Parallaxe zur anderen übergehen und beliebig viel Punkte eintragen. Die Übersichtlichkeit bleibt dauernd erhalten.

Auch für die Konstruktion von Schichtlinien und Profilen bedeutet unser Parallaxenmaßstab eine wesentliche Erleichterung und Beschleunigung der Arbeit. Wie ich schon an früherer Stelle dieser Zeitschrift *(23. S. 45. 1903)* dargetan habe, kann man nämlich mit dem Stereokomparator nicht allein die Lage und die Höhe einzelner Punkte bestimmen, sondern man kann auch, wenn die Aufnahme nach dem sog. Normalfall erfolgt ist, alle diejenigen Punkte in dem Landschaftsbild aufsuchen, die eine und dieselbe Höhe besitzen[1]). Man arbeitet in der Weise, daß man das Dreieck D auf dem Zeichenbrett auf eine bestimmte Parallaxe (z. B. $a = 7{,}23$ mm, s. Fig. 2) und das Schwenklineal (L_1) auf eine bestimmte Höhe (z. B. $H = 290$ m) einstellt, das dazugehörige y_1 am Zeichenbrett abliest und nach Übertragung der Werte a und y_1 auf den Stereokomparator das Plattenpaar bis zum Aufsitzen der wandernden Marke auf der Erdoberfläche seitlich verschiebt. Man liest dann am x_1-Maßstab des Stereokomparators den Nonius ab, stellt das Schwenklineal auf diesen Wert ein und erhält so an dem Dreieck den gesuchten

[1]) Bei verschwenkten Achsen geht das nicht (vgl. meinen Aufsatz in dieser Zeitschrift *32. S. 283. 1912*).

Punkt. Das gleiche macht man unter Beibehaltung der Höhe $H = 290$ m für eine andere Parallaxe und so fort. Durch Verbindung aller dieser Punkte erhält man dann eine Schichtlinie und durch Wiederholung des Verfahrens für jedesmal eine neue Höhe mit immer dem gleichen Höhenunterschied einen Schichtenplan mit konstantem Schichtenabstand (siehe Fig. 2).

Was bei diesem Verfahren besondere Sorgfalt beansprucht, ist die jedesmalige Ermittelung des y_1 auf dem Zeichenbrett. Zu dem Zweck macht man zweckmäßig die Einstellung des Schwenklineals auf einen bestimmten Strich des Höhenmaßstabes unter Hinzuziehung einer Lupe und die Ermittelung des y_1 am Zeichenbrett unter Zuhilfenahme eines Zirkels und einer Hilfsteilung mit den Unterabteilungen des y_1-Maßstabes.

Auch bei der Konstruktion von Profilen erfolgt die Arbeit am Stereokomparator in engem Zusammenhang mit der Arbeit am Zeichenbrett. Man geht hierbei von dem gegebenen Punkt im Plan aus, ermittelt durch Anlegen des Dreiecks und des Schwenklineals die Werte für a nnd x_1, stellt den Stereokomparator auf diese Werte ein und beobachtet durch Verschiebung des Stereomikroskops das Aufsitzen der Marke auf der Erdoberfläche. Bei dieser Stellung des Stereomikroskops liest man den y_1-Maßstab ab, überträgt diese Ablesung auf das Schwenklineal und erhält am Dreieck sofort die gesuchte Höhe H. In dieser Weise können Längen- und Querprofile und das Profil nach einer beliebig vorgeschriebenen Leitlinie (siehe die Nebenfiguren in Fig. 2) konstruiert werden, und überall bewährt sich unser Parallaxenmaßstab in vorteilhafter Weise.

Herstellung des Parallaxenmaßstabes. Die Lage der einzelnen Striche des Parallaxenmaßstabes kann durch Zeichnung oder durch Rechnung ermittelt werden. Im ersten Falle benutzt man zweckmäßig das in Fig. 1 wiedergegebene und a. a. O. näher beschriebene Schema. Man legt das Schwenklineal der Reihe nach an die zehntel mm der Parallaxenmaßstäbe S_n bis S_1 an und bestimmt, mit größter Sorgfalt natürlich, die zugehörigen Schnittpunkte S von L_1 mit NN. Durch jeden dieser Schnittpunkte zieht man einen kurzen vertikalen Strich und zeichnet die halben und ganzen Millimeter der Parallaxe durch je einen längeren Strich und durch den darüber geschriebenen Wert der Parallaxe aus.

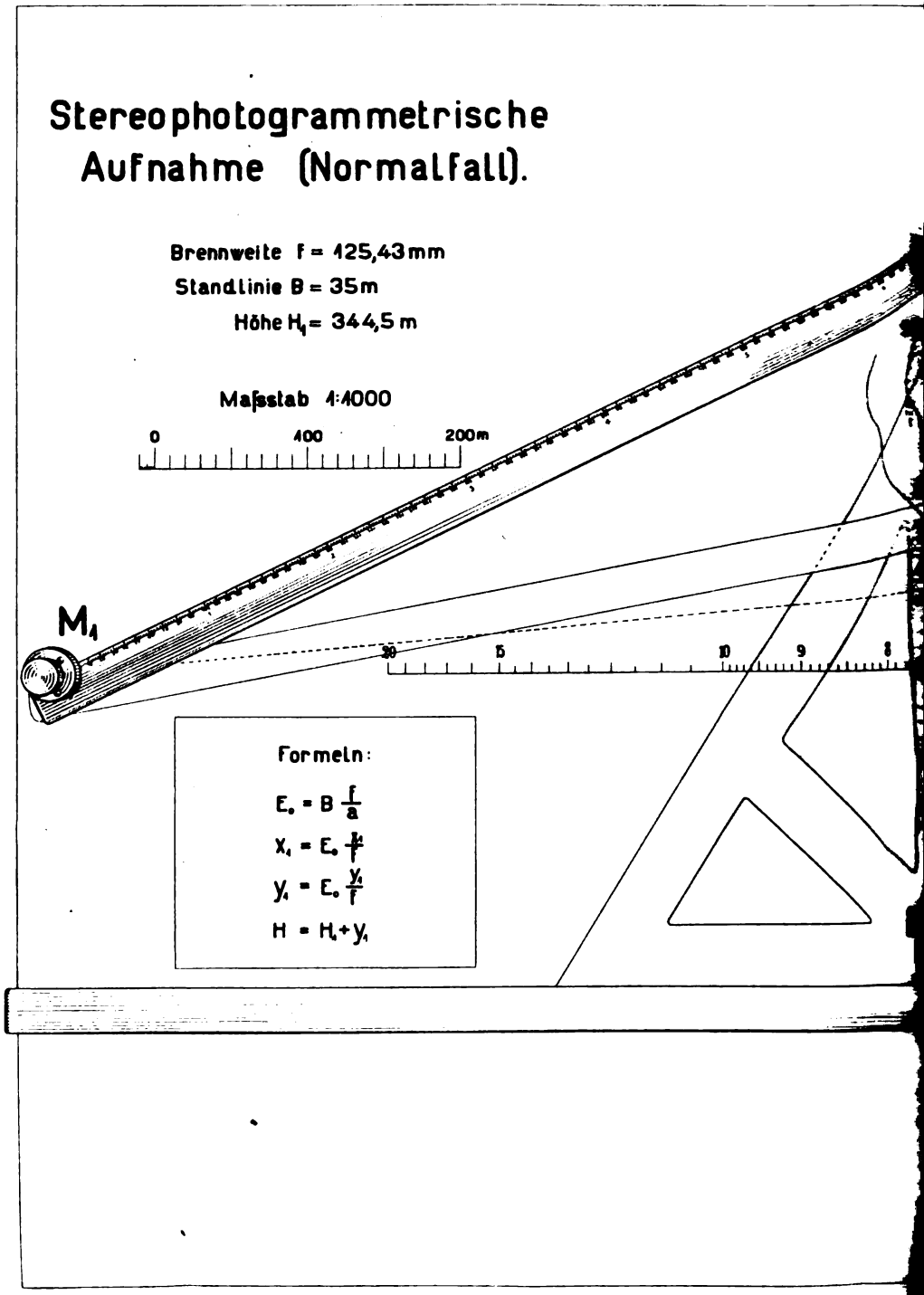
Der in Fig. 2 angegebene Maßstab ist berechnet worden. Bei der Berechnung tut man gut, den Maßstab, in dem der Plan angefertigt werden soll, gleich mit zu berücksichtigen. Sei dieser 1 : e Tausend, d. h. 1 mm der Zeichnung = e m in der Natur, so wird:

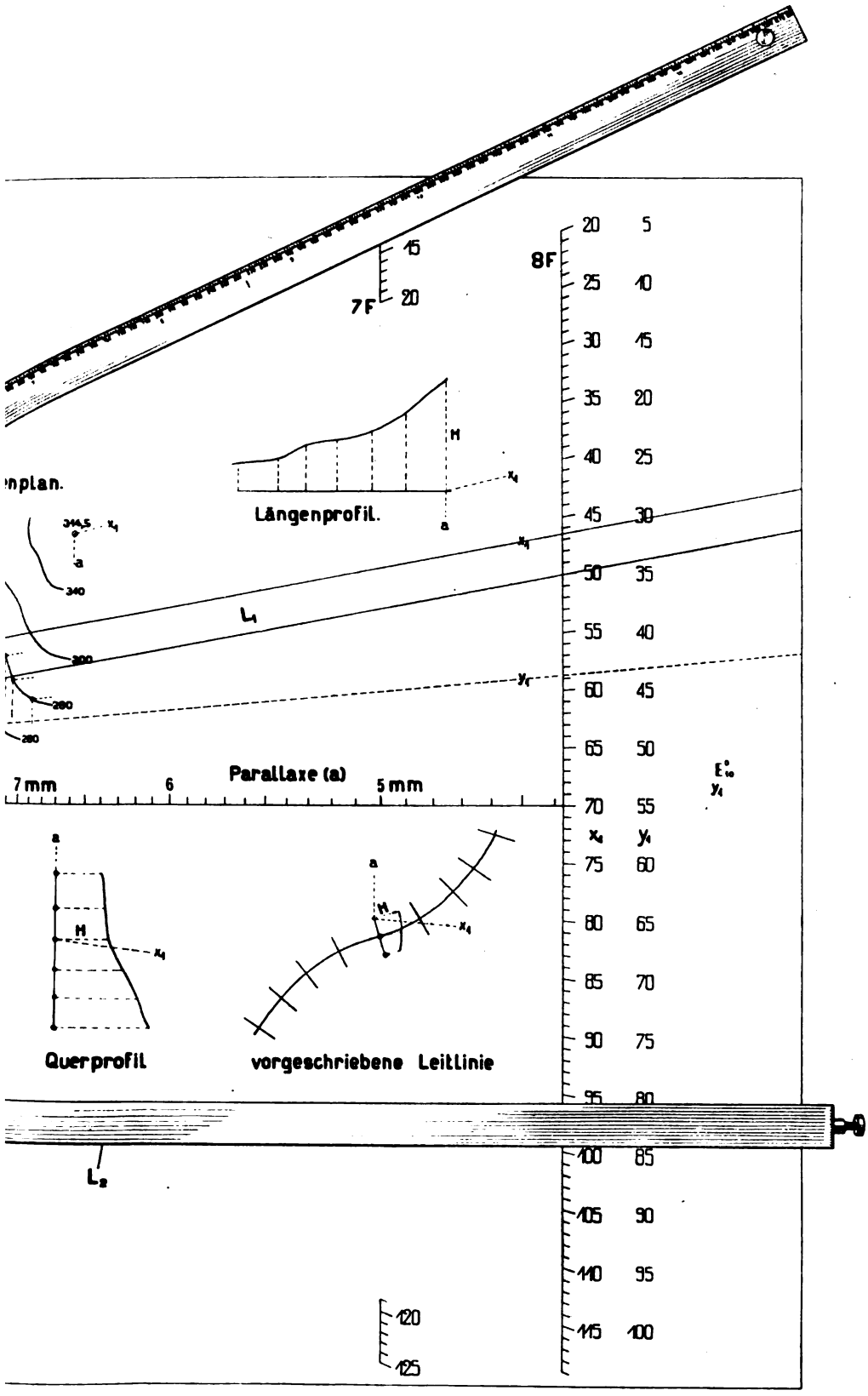
$$E_o = \frac{Bf}{a} m = \frac{Bf}{ea} mm = \frac{K}{a} mm,$$

und man erhält die gesuchte Strecke E_o in Einheiten der auf dem Schwenklineal angebrachten mm-Teilung. Man kann also die Striche des Maßstabes sofort auf $M_1 0$ oder auf eine ihr parallele Gerade auftragen.

Die Ausrechnung wird zweckmäßig mit einer fünfstelligen Logarithmentafel vorgenommen. Ich habe gefunden, daß man in einer Stunde gegen 100 Striche berechnen und durch Bildung der ersten und zweiten Differenz auf ihre Richtigkeit prüfen kann.

Wie man aus Fig. 2 ersieht, kommen von unserem früheren Schema (Fig. 1) eine ganze Reihe von Skalen in Fortfall: die beiden Maßstäbe T_1 für die Basis, die Gerade NN und die Skalen S_n bis S_1 für die Parallaxe. Es bleiben übrig (s. Fig. 2) nur die Maßstäbe S_n für die x_1- und y_1-Ablesungen am Stereo-Komparator. Entspricht der


Stereophotogrammetrische Aufnahme (Normalfall).
Brennweite f = 125,43mm
Standlinie B = 35m
Höhe H_1 = 344,5 m
Maßstab 1:4000
0
400
200m
M_1
30
5
10
9
8
Formeln:
$E_0 = B \frac{f}{a}$
$X_1 = E_0 \frac{x_1}{f}$
$y_1 = E_0 \frac{y_1}{f}$
$H = H_1 + y_1$



Verlag: Julius Springer, Berlin.

Maßstab S_1 in seiner Länge mehr ganz der Breite und Höhe der photographischen Platte ... kommt beiderseits noch je ein Stück von $S_{...}$ in ... mm Abstand von A_1 dazu.

In Zukunft wird die mit Papier überzogene Glasplatte, Messe 23/30 ..., welche den Platz-Theodolit beigegeben wird nur noch mit den Skalen S_1 und S_2 für

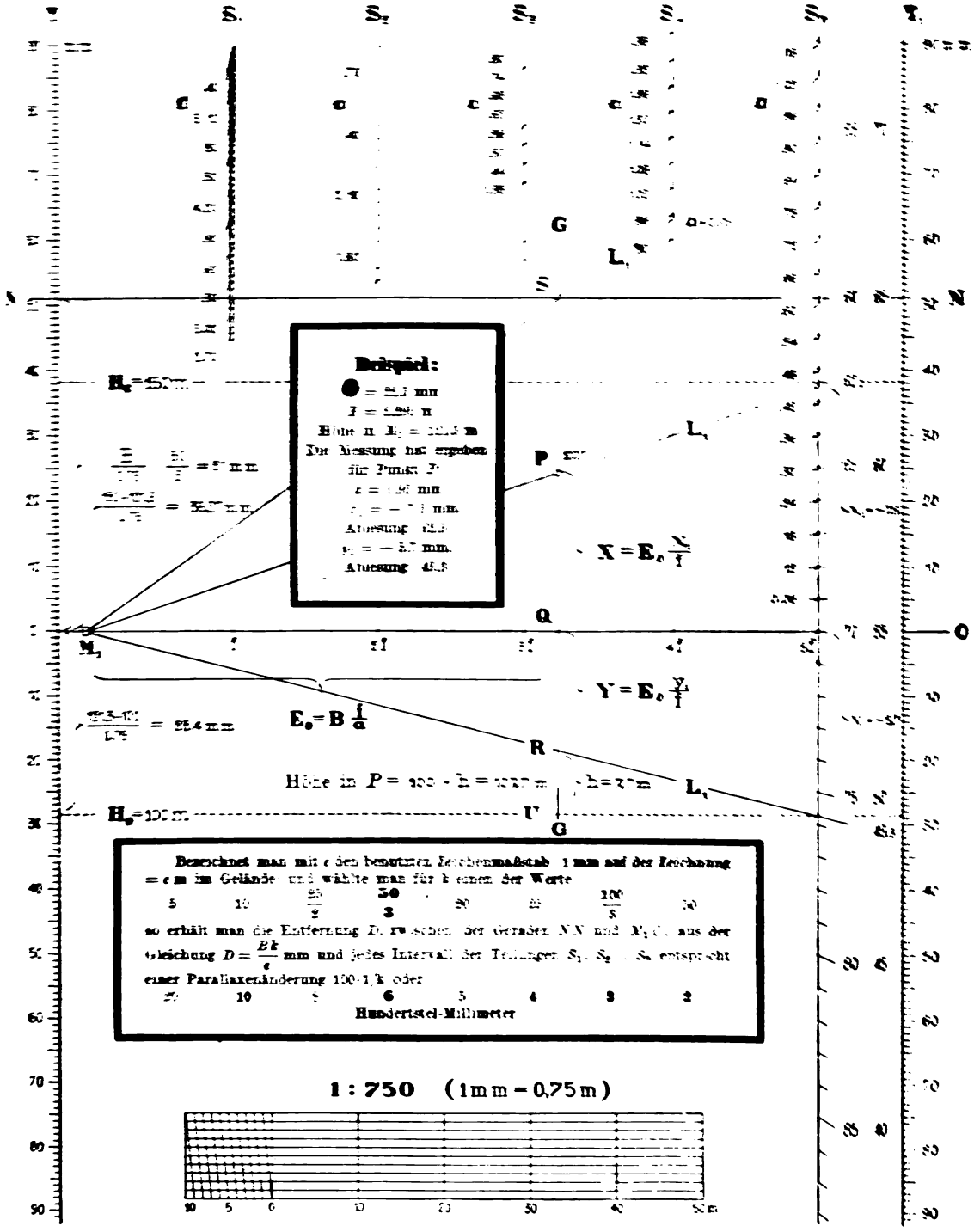


Fig. 1.

Schema für die Herstellung und die Bezifferung der Maßstäbe und für die Konstruktion der Lage und der Höhe eines am Stereokomparator gemessenen Punktes P.

x_1 und y_1 — ohne Bezifferung — ausgerüstet. Über die Tafel wird ein Bogen Pauspapier gespannt und am Rande festgeklebt. Parallaxenmaßstab und Plan kommen auf das Pauspapier. —

Ich möchte bei dieser Gelegenheit noch auf einen anderen Nachteil des bisherigen Auftragverfahrens aufmerksam machen. Er besteht darin, daß die beiden Maßstäbe S_n für x_1 und y_1 auf dem Zeichenbrett (s. Fig. 1) in umgekehrter Richtung beziffert sind. Dadurch entstehen leicht Irrtümer. Auch kommen bei der Einstellung des L_1-Lineals auf den am Höhen-Maßstab des Stereo-Komparators abgelesenen Wert die zehntel mm jedesmal unter das Lineal L_1 zu liegen, was die Einstellung von L_1 erschwert. Beides wird vermieden dadurch, daß man den y_1-Maßstab auf dem Zeichenbrett in gleicher Richtung wie den x_1-Maßstab beziffert, so wie das in Fig. 2 geschehen ist. Natürlich muß jetzt auf dem Dreieck die Höhenskala ebenfalls in der Richtung von oben nach unten beziffert werden, und der Vorteil der bequemeren Ablesung ist hier der gleiche wie beim y_1-Maßstab.

Sind in dem aufgenommenen Gelände keine allzu großen Höhenunterschiede vorhanden, so kann man die Genauigkeit der Höhenablesung am Dreieck dadurch noch etwas steigern, daß man für die Bezifferung der Striche auf dem Dreieck und der y_1-Striche auf dem Zeichenbrett einen entsprechend größeren Maßstab wählt.

Für das Arbeiten mit verschwenkten Achsen, vgl. *diese Zeitschr. 32. S. 261 und 281, 1912* findet das vorstehend beschriebene Verfahren sinngemäße Verwendung.

Über Messungen an einem Zwei-Pendel-Apparat.

Von
R. Schumann in Wien.

In *dieser Zeitschrift 17. S. 7. 1897* ist von mir über eine Methode berichtet worden, nach der mit Hilfe eines schweren Wipp-Pendels (treibendes Pendel) das Mitschwingen des invariablen Pendels (getriebenes Pendel) bestimmt werden kann und zwar aus dem Anwachsen von dessen Amplitude aus der Ruhelage[1]); aus ihm ergibt sich zunächst das Mitschwingen des treibenden Pendels, das ja selbst nicht zur Bestimmung von Schwerkraftdifferenzen dient. Gesucht wird eigentlich das Mitschwingen des getriebenen (invariablen Sterneckschen) Pendels; es wird aus jenem durch Multiplikation mit dem Faktor $\frac{m \cdot s}{M \cdot S}$ berechnet. Dabei bedeuten m und M die Massen, s und S die Schwerpunktabstände von den Schneiden für getriebenes und für treibendes Pendel.

Durch das etwa $2^1/_2$mal schwerere, treibende Wipp-Pendel wird nun zwar das Anwachsen jener Amplitude verstärkt und deshalb besser und in kürzerer Zeit meßbar, andererseits wird aber das Gewicht des Stativs während der Zeit der Mitschwingungsbestimmung größer als bei der Messung der Schwerkraftdifferenz und es wird ein Pendelwechsel nötig. Deshalb war der Gedanke verlockend, das bei der Messung von Schwerkraftdifferenzen im Innern des Stativs schwingende, invariable Pendel selbst als treibendes zu benutzen, wie beim noddy-Pendel; zu diesem Zwecke ließ ich das der Lehrkanzel für höhere Geodäsie und sphärische Astronomie an der

---

[1]) Vergleiche auch die weiteren Ausführungen in der *Zeitschr. f. Math. u. Phys. 44. S. 102 bis 138.*

Wiener Technischen Hochschule gehörende Sternecksche Pendelstativ in entsprechender Weise zur Aufnahme eines leichteren Hilfspendels mit bequem verschiebbarer Linse abändern. Aus dem Anwachsen seiner Amplitude sollte dann das Mitschwingen des invariablen Pendels selbst hervorgehen. Es war von Anfang an kein Zweifel, daß damit brauchbare Messungen erzielt werden mußten. Aber wegen des geringeren Gewichts des nunmehr treibenden Pendels erfolgt das Anwachsen langsamer und wegen des ebenfalls geringeren Gewichtes des getriebenen Pendels haben die unvermeidlichen Bodenerschütterungen größeren Einfluß auf die Genauigkeit der Messung; deshalb sehe ich hier davon ab, auf diese Messungen näher einzugehen, ein etwas schwereres Wipp-Pendel erscheint mir vorzuziehen zu sein.

Das schwerere Wipp-Pendel ist von mehreren Beobachtern bei relativen Schwerkraftmessungen angewendet worden. Deshalb gewinnt eine Methode an Wert, jenen Bruch $\frac{m \cdot s}{M \cdot S}$ zu bestimmen, die Herr Ph. Furtwängler vor Jahren angab: die beiden auf gleicher horizontaler Unterlage schwingenden Pendel werden durch einen Faden miteinander verkoppelt, alsdann ist das umgekehrte Verhältnis ihrer Ausschläge nahe gleich jenem Bruche.

Um die auf einer starren Unterlage schwingenden Pendel M und m (Fig. 1), deren Schneiden etwa 10 cm Abstand haben, miteinander zu verkoppeln, habe ich ein leichtes Joch herstellen lassen durch den zu früh verstorbenen, geschickten Mechaniker der hiesigen Lehrkanzel für Physik, Bernard, dessen Mitwirkung ich Herrn Kollegen Mache verdanke. Das Joch wurde aus 0,3 mm dicken und 0,8 mm breiten Aluminiumstreifen gefertigt und bestand aus 2 Teilen. Die äußeren Enden umfassen hakenförmig die Pendelstangen. Am inneren Ende des einen Teiles (Fig. 2) befand sich eine Fläche von $1 \times 0{,}5$ cm² mit 24 in 8 schräge Reihen angeordneten Löchern; am

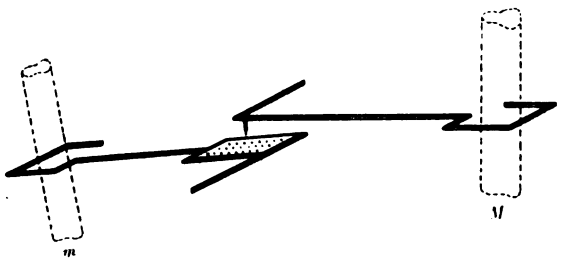


Fig. 1.

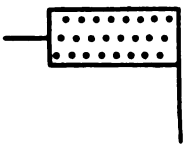


Fig. 2.

inneren Ende des anderen Teiles diente ein entsprechendes spitzes Zäpfchen, in eines jener Löcher eingeführt, dazu, das Joch nach Wunsch um Bruchteile des Millimeters zu verkürzen. Je ein Stielchen an jedem inneren Ende diente zum Anfassen beim Aus- und Einheben des Zäpfchens. Das nur 0,25 g schwere Joch haftet an den Pendelstangen genügend fest; ist das Zäpfchen eingelassen, so kann das Joch als starr gelten. Sein Gewicht kann vernachlässigt werden.

Das System, bestehend aus Unterlage, beiden Pendeln und Joch, hat 4 Gelenke; nach einigen Schwingungen kommt es innerhalb 1 Minute zur Ruhe. Für den Gleichgewichtszustand fand Herr stud. ing. Eisenmann folgende Formel mit der Annahme, daß die Pendelstangen als starre Geraden gelten können:

$$\frac{m \cdot s}{M \cdot S} = \frac{\sin A}{\sin a} \cdot \frac{L \cdot \cos(A - \gamma)}{l \cdot \cos(a + \gamma)}. \qquad 1)$$

Die Dicken der Pendelstangen lassen sich unschwer berücksichtigen, s. u. In der

Formel bedeuten A und a die Ausschläge, L und l die Abstände der Angriffspunkte des Joches von den Schneiden, γ den Winkel des Joches mit der Horizontalen. Die Schneidenunterlage gilt als horizontal. A und a werden in bekannter Weise am Sterneckschen Koinzidenzapparat, also mit horizontalem Fernrohr und vertikaler Skala gemessen; beide Pendel tragen Spiegel.

Es ist bequem, $\gamma = 0$ zu halten, also das Joch ebenfalls in die Horizontale zu bringen. Dies wurde bei den ersten Messungen nach Augenmaß bewerkstelligt; aus ihren Ergebnissen sei hier nur erwähnt, daß die Werte jenes Bruches sich aus verschiedenen Abständen des Joches von den Schneiden als genügend gleich ergaben.

Eine viel größere Genauigkeit der Messung trat ein, als die horizontale Lage des Joches so scharf als möglich eingehalten wurde; dies kann leicht erreicht werden durch Visieren über eine horizontale nahe Kante oder mit Hilfe eines seitlichen, in Azimut drehbaren Fernrohrs. Das Feineinstellen des Joches geschieht durch schwaches Klopfen mit einem leichten Gegenstand.

Darf $\gamma = 0$ gesetzt werden, so wird sehr nahe $L \cdot \cos A$ gleich $l \cdot \cos a$ sein, somit erhält man die einfachere Formel

$$\frac{m \cdot s}{M \cdot S} = \frac{\sin A}{\sin a}; \qquad 2)$$

sie gibt für so kleine Ausschläge, als hier gebraucht werden, die Regel des Herrn Furtwängler nahe wieder.

Die 4 Pendel des Lehrkanzelapparates wurden nunmehr mit dem 690 g schweren Hilfspendel verglichen; ihre Gewichte sind

Pendel Nr. 11	Stahlschneiden 1120 g	Pendel Nr. 17	Achatschneiden 1095 g
Pendel Nr. 12	Stahlschneiden 1142 „	Pendel Nr. 18	Achatschneiden 1095 „

Da die Ausschläge 1^0 nicht überschritten, so wurde für die überschüssigen Messungen folgende einfache Gestalt der Fehlergleichung gewählt:

$$a_i \cdot k - A_i = v_i, \quad i = 1 \ldots n, \qquad 3)$$

wo in $k = \frac{m \cdot s}{M \cdot S}$ das k die gesuchte Unbekannte, v die übrigbleibenden Fehler darstellen. A und a werden in Skalenteilen ($1\,p = 3$ mm) gegeben. Der Abstand Skala-Spiegel war im Durchschnitt 2 m. Es ergaben sich aus den Messungen folgende Systeme von Fehlergleichungen und übrigbleibenden Fehlern:

Pendel Nr. 11			Pendel Nr. 12			Pendel Nr. 17			Pendel Nr. 18		
a	A	v	a	A	v	a	A	v	a	A	v
+ 1,9 k	− 1,1	= 0,00	+ 1,3 k	− 0,85	= − 0,11	+ 4,25 k	− 2,45	= + 0,01	+ 1,15 k	− 0,7	= − 0,03
+ 8,05	− 4,7	= − 0,02	+ 4,8	− 2,8	= − 0,06	+ 5,55	− 3,2	= + 0,02	+ 2,55	− 1,6	= − 0,11
+ 7,7	− 4,5	= − 0,03	+ 9,4	− 5,35	= + 0,01	+ 9,7	− 5,65	= − 0,02	+ 7,3	− 4,25	= + 0,03
+ 11,0	− 6,5	= − 0,11	+ 15,0	− 8,45	= + 0,10	+ 12,0	− 7,0	= − 0,04	+ 9,35	− 5,5	= − 0,02
+ 13,65	− 7,85	= + 0,08	+ 15,4	− 8,85	= − 0,07	+ 14,5	− 8,4	= + 0,01	+ 11,5	− 6,8	= − 0,06
+ 14,5	− 8,4	= + 0,02	+ 17,2	− 9,85	= − 0,05	+ 16,25	− 9,4	= + 0,02	+ 15,0	− 8,7	= + 0,09
			+ 19,3	− 11,0	= 0,00	+ 19,6	− 11,35	= + 0,02	+ 18,1	− 10,6	= + 0,01
			+ 11,4	− 6,45	= + 0,05	+ 17,75	− 10,3	= 0,00	+ 18,55	− 10,85	= + 0,02
			+ 8,2	− 4,65	= + 0,02	+ 7,55	− 4,35	= + 0,03	+ 13,25	− 7,8	= − 0,03
			+ 3,7	− 2,05	= + 0,06	+ 3,5	− 2,1	= − 0,07	+ 7,5	− 4,45	= − 0,05

Die Normalgleichungen:

+ 645,27 k − 375,03 = 0	+ 1454,47 k − 828,85 = 0	+ 1529,73 k − 887,01 = 0	+ 1409,30 k − 825,91 = 0

Die Unbekannten k:

k_{11} = + 0,5812 ± 0,0025	k_{12} = + 0,5699 ± 0,0017	k_{17} = + 0,5798 ± 0,0008	k_{18} = + 0,5860 ± 0,0015

Der mittlere Fehler einer Gleichung ist im Durchschnitt $\pm 0{,}06\,p$. Um den mittleren Fehler einer Beobachtung zu erhalten, ist zu bilden $\pm 0{,}06\,p : \sqrt{2}$, weil die obigen A und a aus den Differenzen zwischen Umkehrpunkt und Nullage gebildet wurden; man erhält somit als Schätzung für die Ungenauigkeit aus der Darstellung: $\pm 0 \cdot 04\,p$. Demnach werden die Beobachtungen durch die Näherungsformel 3) innerhalb der Ablesegenauigkeit dargestellt.

Pendel Nr. 11 wurde noch zu weiteren Versuchen verwendet, wobei dem Joch eine schräge Lage gegen den Horizont gegeben wurde; nach Formel 1) ergab sich eine gute Übereinstimmung mit dem Ergebnis aus horizontaler Lage.

Ersetzt man das Verhältnis $m : M$ durch das der Gewichte, so erhält man danach die Verhältnisse der Schwerpunktsabstände. Gelingt es, einen von diesen selbst zu messen, so lassen sich alle übrigen berechnen.

Die hier für die k erreichte Genauigkeit von $\pm 0{,}3\,\%$ ist für Bestimmung des Mitschwingens bei weitem ausreichend. Es scheint sicher, daß sich in den Messungen nach dieser Methode nach einigen Verfeinerungen eine noch größere Genauigkeit erzielen läßt. Werden mit R und r die Radien der Pendelstangen bezeichnet, so nimmt Formel 1) die Gestalt an:

$$\frac{m \cdot s}{M \cdot S} = \frac{\sin A}{\sin a} \cdot \frac{L \cdot \cos(A - \gamma) + R \cdot \sin(A - \gamma)}{l \cdot \cos(a + \gamma) + r \cdot \sin(a + \gamma)};$$

der zweite Faktor auf der rechten Seite wird sich immer nur wenig von 1 unterscheiden; er ist dementsprechend bei dem Ansatz der Fehlergleichung zu entwickeln.

Nivellierstab.

Von

Dr.-Ing. **P. Werkmeister** in Eßlingen a. N.

Es ist schon mehrfach darauf hingewiesen worden, daß man die Instrumente zum Abstecken von rechten Winkeln (Winkelspiegel, Winkelprisma und Fünfseitprisma) auch in einer Vertikalebene zur Ausführung von horizontalen Zielungen, also zum Messen von Höhenunterschieden benutzen kann; dabei ist offenbar immer an eine freihändige Verwendung des Instruments in Verbindung mit einem angehängten Senkel gedacht[1]). Das im nachstehenden beschriebene, nach den Angaben des Verfassers von C. Sickler in Karlsruhe i. B. gebaute Instrument beruht auf der Verwendung eines an einem Stab befestigten Fünfseit- oder Winkelspiegelprismas zu dem angegebenen Zweck; die horizontale Lage der Zielung wird dabei mit Hilfe einer Dosenlibelle hergestellt. Da es sich um eine an einem Stab angebrachte Nivelliervorrichtung handelt, so kann das Instrument als Nivellierstab bezeichnet werden.

Das ganze Instrument (Fig. 1) besteht aus dem — je nach der Größe des Beobachters — 1,40 bis 1,60 m langen Stab S, dem Prisma P, der Dosenlibelle D und einer Einstellmarke M; der aus Holz gefertigte Stab besitzt an seinem unteren Ende eine eiserne Spitze, so daß er beim Gebrauch entweder bloß auf den Boden aufgesetzt oder auch in den Boden gedrückt werden kann. Prisma, Dosenlibelle und Einstellmarke können vom Stab abgeschraubt werden; das Prisma kann auch an die obere Stabfläche geschraubt werden, so daß es gelegentlich zur Absteckung von rechten Winkeln in der Horizontalebene benutzt werden kann.

[1]) Vgl. z. B. E. Hammer, Lehrbuch der elementaren praktischen Geometrie, Band I, S. 762.

Die Dosenlibelle besitzt eine durch ihren Spielpunkt in der Richtung zur Stabachse gehende, in roter Farbe angegebene Gerade G; durch diese Gerade und die Marke M ist die Ziellinie AZ bestimmt. Die Marke M ist infolge der geringen Entfernung zwischen Dosenlibelle und Prisma erforderlich; den Einfluß dieser Entfernung auf eine durch die Gerade G allein bestimmte Ziellinie zeigt die Fig. 2. Befindet sich das Auge in A, so erhält man die Ziellinie AZ; bewegt man das Auge nach A', so ergibt sich die Ziellinie $A'Z'$. Die beiden Ziellinien AZ und $A'Z'$ schneiden sich unter einem Winkel ε, der um so größer ist, je näher die Gerade G an dem Prisma P liegt[1]). Hieraus ergibt sich, daß das Auge bei der Zielung eine bestimmte Stellung zum Prisma haben muß; diese Stellung ist durch die Einstellmarke M festgelegt.

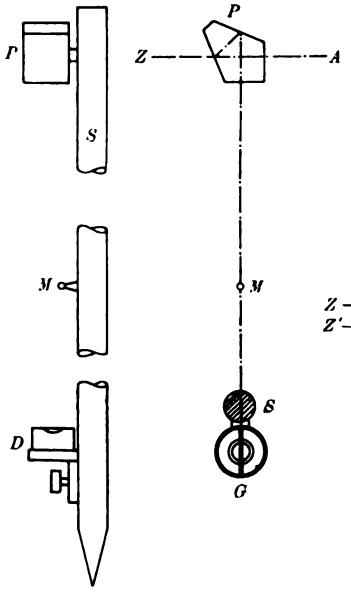


Fig. 1.

Die Benutzung des Nivellierstabes geschieht in der Weise, daß man dem leicht auf den Boden gesetzten oder in den Boden gedrückten Stab mit der Hand diejenige Stellung gibt, bei der die im Prisma gesehene Dosenlibelle einspielt; bringt man dann das Auge in diejenige Lage, für die sich die Marke M mit der Geraden G deckt, so hat man im Prisma das in der Fig. 3 angegebene Bild. Die Verlängerung

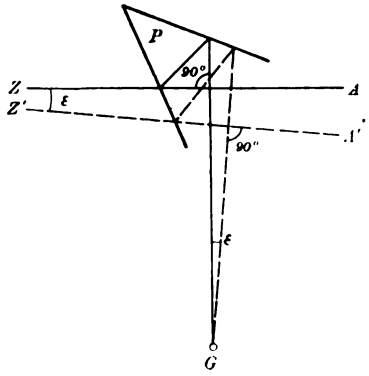


Fig. 2.

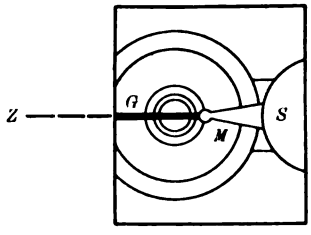


Fig. 3.

der im Prisma gesehenen Geraden G über den Prismenrand hinaus nach links ergibt bei berichtigtem Instrument eine horizontale Zielung Z.

Die Untersuchung des Instruments erfolgt am einfachsten mit Hilfe von zwei gleich hoch gelegenen, 20 bis 30 m voneinander entfernten Punkten. Man stellt dabei das Instrument in oder bei dem einen Punkt auf, bestimmt den vertikalen Abstand des Prismas von dem Punkt und trägt diesen Abstand im zweiten Punkt nach oben ab; auf den so erhaltenen Punkt stellt man dann — ohne Rücksicht auf die Stellung der Libellenblase — durch entsprechendes Neigen des Stabes die Ziellinie des Instruments scharf ein. Spielt die Libelle in dieser Stellung des Stabes in der Richtung senkrecht zur Geraden G nicht ein, so bringt man sie zum Einspielen mit Hilfe der für diesen Zweck in der üblichen Form vorhandenen Berichtigungsschrauben. Am besten stellt man natürlich bei der Untersuchung das Instrument so auf, daß der Stab fest im Boden steckt[2]).

---

[1]) Bei den Abmessungen des Nivellierstabes kann der Winkel ε bis etwa $^1/_2$ Grad groß werden; bei der Benutzung des Fünfseitprismas in der Horizontalebene ist der Winkel im allgemeinen nur wenige Minuten groß.

[2]) Führt man die Untersuchung mit Benutzung des horizontalen Fußbodens eines großen Zimmers oder eines Ganges aus, so kann man den Stab mittels einer Schnur z. B. an einem Stuhl befestigen.

Um ein Bild von der mit dem Nivellierstab erreichbaren Genauigkeit zu bekommen, wurde an einer rund 130 m entfernten Telegraphenstange ein nach Augenmaß horizontal gehaltener Fluchtstab im ganzen zehnmal mit dem zuvor untersuchten Instrument eingewiesen, und für jede Einweisung der Abstand von einem vorher mit einem untersuchten guten, unmittelbar neben dem Nivellierstab aufgestellten Nivellierinstrument bestimmten Punkt gemessen, der genau 20 cm unter dem mit dem Prisma in derselben Höhe liegenden Punkte angenommen wurde. Vor jeder der zehn Einweisungen wurde der Dosenlibelle absichtlich ein Ausschlag erteilt, so daß sie vor jeder Einweisung frisch eingestellt werden mußte; die Abweichungen der den einzelnen Einweisungen entsprechenden Ablesungen von der Sollablesung 20 cm rühren also nicht nur von der Unsicherheit der Einweisung her, sondern enthalten auch die Einflüsse der Fehler beim Einspielen der Libelle. Die zehn Einweisungen wurden ferner in der Weise vorgenommen, daß der einzuweisende Fluchtstab das eine Mal zunächst ein beträchtliches Stück unterhalb und das andere Mal ein beträchtliches Stück oberhalb des richtigen Punktes angehalten wurde. Die den zehn Einweisungen entsprechenden Ablesungen waren die folgenden:

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
17,0	16,8	16,6	25,5	22,0	27,5	11,5	19,5	16,5	23,5 cm.

Die größte Abweichung von der Sollablesung 20,0 cm beträgt 8,5 cm. Das Mittel von allen zehn Ablesungen ist 19,6 cm und weicht also nur 0,4 cm von der genauen Ablesung ab. Bestimmt man die Abweichungen der einzelnen Ablesungen von der Sollablesung und beachtet man, daß diese Abweichungen als wahre Fehler der Ablesungen angesprochen werden dürfen, so findet man in bekannter Weise für den mittleren Fehler einer Einweisung $\pm$ 5 cm. Eine zweite, durch einen anderen Beobachter in derselben Weise ausgeführte Versuchsreihe ergab für eine Einweisung den mittleren Fehler $\pm$ 6 cm; beide Fehler beziehen sich — wie oben angegeben — auf die Entfernung von 130 m.

Der Nivellierstab kann zur Aufsuchung von Punkten gleicher Höhe und auch zur Übertragung von Höhen mit Hilfe von Wechselpunktnivellements benutzt werden. Da die Einweisungen mit unbewaffnetem Auge geschehen, so führt man bei Wechselpunktnivellements die Messung am einfachsten in der Weise aus, daß man in den Wechselpunkten je z. B. einen längeren Fluchtstab aufhalten läßt, an dem ein horizontal gestelltes, verschiebbar angebrachtes Lattenstück eingewiesen wird; die Ablesungen werden dann von der den Fluchtstab haltenden Person vorgenommen. Man kann auch vielfach auf Ablesungen ganz verzichten, und weist beim „Vorblick“ nur das horizontal gestellte Lattenstück ein; beim „Rückblick“ hat man dann durch Versuche den Nivellierstab so aufzustellen, daß er mit dem Lattenstück in derselben Höhe steht.

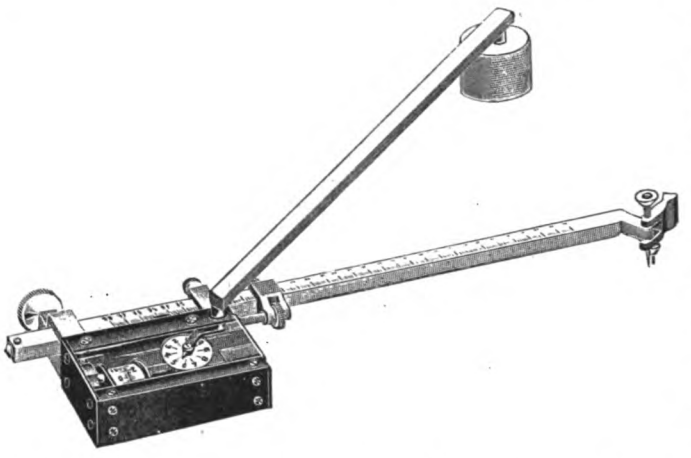
Der Nivellierstab wird in Frage kommen bei Arbeiten des Topographen, des Geologen und des Geographen; er kann auch benutzt werden bei den Vorarbeiten des Ingenieurs im Wasser-, Straßen- und Eisenbahnbau.

Referate.

Neuerung an Planimetern, von Reiß.

Nach dem Instrument.

Wer immer mit Planimetern zu arbeiten hat, macht auch die Erfahrung, daß die „in Spitzen laufende“ Welle der Meßrolle und ebenso die Zählvorrichtung für die ganzen Rollenumdrehungen durch mechanische Störungen (Stoß) und ebenso durch Staub usf. leicht notleiden und dauernd in ihrer richtigen Wirkung beeinträchtigt werden. Die große Zahl der wegen solcher Schäden zur Wiederherstellung eingelieferten Planimeter hat die Werkstätte von R. Reiß, Liebenwerda (Provinz Sachsen) veranlaßt, eine Schutzvorrichtung für jene empfindlichen Teile der Planimeter herzustellen. Sie besteht einfach in einem Kästchen mit ganz leichten Blechwänden das die Meßrolle und ihre Welle



nebst den Richtschrauben sowie das Zählwerk umschließt, mit einem Glasplättchen abgedeckt ist und nur unten durch eine Aussparung einen Teil des kleinen „Spurkranz“-Reifens der Meßrolle aufs Papier hervortreten läßt. Die Vorrichtung schützt auch vor Fehlern bei der Arbeit, die durch Anstoßen der Rolle an Gegenstände, die auf der Papierfläche liegen, entstehen können und bietet ferner den Vorteil, daß das Planimeter bei jeder beliebigen Einstellung des Polarms, ohne Gefahr der Veränderung dieser Konstanten in das Etui gelegt werden kann. Es ist zu empfehlen, die einfache Vorrichtung an den meisten im Gebrauch befindlichen gewöhnlichen Planimeterarten nachträglich anbringen zu lassen (50 M.). *Hammer.*

Die Entspannungstemperatur des Glases.

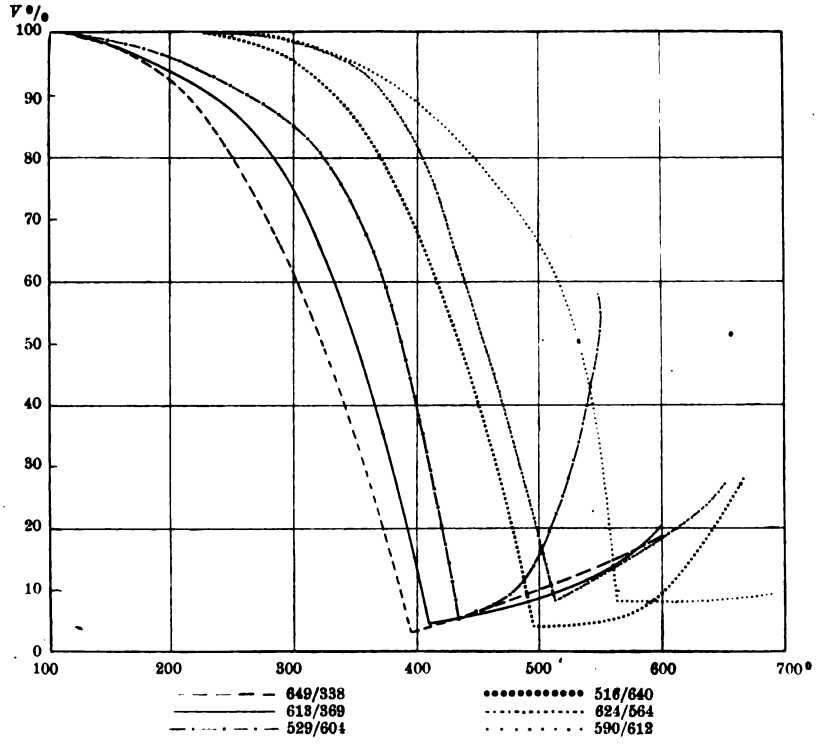
Von F. Weidert *und* G. Berndt. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **1.** *S. 52. 1920.*

Zur Beseitigung der durch den Herstellungsprozeß bewirkten inneren Spannungen muß das Glas auf eine solche Temperatur erwärmt werden, daß die Moleküle eine derartige Beweglichkeit erhalten, daß sich jene möglichst momentan ausgleichen können. Die hierzu nötige Temperatur haben Zschimmer und Schulz (*Ann. d. Phys.* **42.** *345. 1913*; *Silikat Zeitschr. 1914, Nr. 3 u. 4*) sowie Schulz allein (*diese Zeitschr.* **33.** *205. 247. 1913*; *Keram. Rundschau* **22.** *S. 45. 1914*; *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch.* **20.** *S. 240. 1918*) dadurch zu bestimmen gesucht, daß sie Glasstäbchen von bestimmten Temperaturen aus dem elektrischen Ofen herauswarfen und beobachteten, von welcher Temperatur ab keine Spannungserhöhung mehr eintrat. Dann hat Zschimmer dafür die Kohäsionstemperatur eingeführt (*Silikat Zeitschr. 1914 Nr. 7*; *Naturwissenschaften* **2.** *S. 961. 1914*; *Zentralztg. f. Opt. u. Mech.* **38.** *S. 109, 120, 131, 145, 167. 1913*); er versteht darunter die Temperatur, bei welcher zwei kleine polierte Glasplättchen bestimmter Abmessungen zusammenfritten; diese Temperatur ist aber eine Funktion der Oberflächenbeschaffenheit, der Plattendicke und der Erhitzungsdauer. Zschimmer führt deshalb als „absolute Kohäsionstemperatur“ die Frittentemperatur bei unendlich langer Erhitzungsdauer ein, begnügt sich aber praktisch mit der Bestimmung bei einer Zeit von 30 Min.

Um zunächst einen Überblick über die Höhe der oben definierten Temperatur zu erhalten, wurde die sogenannte Deformationstemperatur bestimmt; darunter wird diejenige Temperatur verstanden, bei welcher sich in der polierten Fläche eines auf der Spitze stehenden Würfels, der zur Hälfte in Kieselgur eintaucht, nach 6stündiger Erhitzung die ersten Eindrücke zeigen. Wie nach

dem größeren Gewicht der verwendeten Stücke zu erwarten war, liegt die Deformationstemperatur im allgemeinen tiefer als die Kohäsionstemperatur. Bei Verwendung von 50-mm-Würfeln sinkt die Temperatur um etwa 50°, während bei der Verwendung von solchen von 75 mm Kante keine weitere Änderung eintrat.

Zur direkten Bestimmung der Entspannungstemperatur wurden Würfel in kleinen Formen gesenkt und in diesen im elektrischen Ofen verhältnismäßig schnell abgekühlt, um ihnen so eine bestimmte Spannung zu geben. Sie wurden dann in größeren Öfen nach verschiedenen Kurven und in verschiedenen Zeiten von einer Reihe von Anfangstemperaturen aus gekühlt. Der Verlauf des Verhältnisses V der Spannungen nach und vor der Kühlung (in Proz.) ist in der Figur wieder-



gegeben. Dabei wurden die Differenzen der Brechungsindizes des ordentlichen und des außerordentlichen Strahles an vier Eckpunkten der Würfel mit dem Schulzschen Spannungsmeßapparat gemessen und der Unterschied zwischen dem beobachteten größten positiven und größten negativen Wert als Spannungsmaß benutzt. In den Kurven sieht man, daß jenes Verhältnis mit wachsender Anfangstemperatur zunächst etwa nach einer Hyperbel abnimmt, dann aber mit einem scharfen Knick umbiegt. Dieser Knickpunkt stellt die Entspannungstemperatur dar. Die an einigen typischen Gläsern erhaltenen Werte sind neben den Deformationstemperaturen nachstehend wiedergegeben; dabei bedeutet der Zähler in der Spalte Glasart die drei ersten Dezimalen von n_D, der Nenner den zehnfachen ν-Wert.

Glasart	Würfelkante	Entspannungstemp.	Deformationstemp.
613/338	25 mm	390°	430°
649/369	25	410	460
	50	400	(410)
519/604	25	430	520
516/640	25	495	605
	50	500	(565)
614/564	25	565	645
590/612	25	585	645

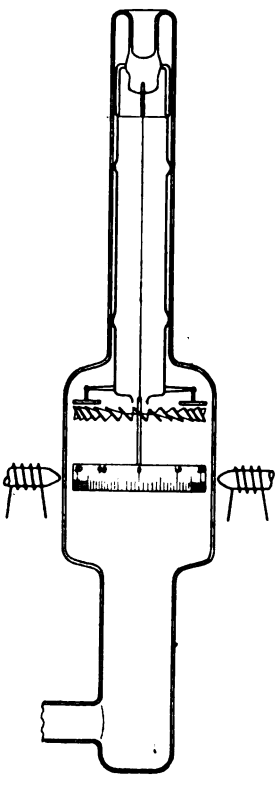
Die Entspannungstemperatur verläuft also ähnlich wie die Deformationstemperatur, liegt

aber, wie zu erwarten war, tiefer als diese. Das Wiederansteigen der Kurven nach der Entspannungstemperatur ist auf die hier einsetzende Entglasung zurückzuführen. Ob tatsächlich ein scharfer Knick auftritt, oder ob die beiden Kurvenzweige durch einen Wendepunkt ineinander übergehen, muß noch durch weitere ausgedehntere Versuche sichergestellt werden. *Berndt.*

Ein neues Vakuummanometer.

Von H. Riegger, *Zeitschr. f. techn. Phys. 1. S. 16. 1920.*

Das neue Vakuummanometer ist eine für die Praxis geeignete Konstruktion des von Knudsen angegebenen. Bei diesem stehen sich zwei Flächen in einem Abstande gegenüber, der klein ist gegen die mittlere freie Weglänge der Moleküle. Sind die beiden Flächen auf verschiedener Temperatur, so erleidet die kältere eine Abstoßung wegen der größeren kinetischen Energie der auf ihre Vorderfläche aufprallenden Moleküle. Die abstoßende Kraft ist bei kleiner Temperaturdifferenz proportional dieser und dem Druck; sie ist aber unabhängig von der Gasart.



Bei dem neuen Instrument wird die abgestoßene Fläche von einer an einem dünnen Wolframdraht aufgehängten Aluminiumscheibe gebildet (s. Fig.), die windradähnlich geformt ist. Ihr gegenüber befindet sich ein kreisförmiges Heizband von etwa 7 mm Breite und $^6/_{1000}$ mm Dicke. Die Beobachtung des Ausschlages des Rädchens erfolgt an einer mit ihm verbundenen Kreiszylinderskala gegen eine auf dem Glasrohr angebrachte Marke. Da sich der Abstand zwischen dem warmen und dem kalten Körper nicht ändert und somit das Drehmoment unabhängig vom Ausschlag ist, erhält man eine lineare Skala und kann mehrere Umdrehungen zur Messung verwenden, hat also einen großen Meßbereich. Das Instrument wird auf einen eisernen Sockel gesetzt und kann mittels eines übergestülpten kleinen elektrischen Ofens (bis 420°) geheizt werden; die Dämpfung geschieht durch einen Elektromagneten. Die Messungen erfolgen (am besten) ballistisch bei ausgeschalteter Dämpfung mit einer Genauigkeit von $^1/_2$ bis 1%. Die Eichkurven verlaufen bei sehr kleinen Drucken nahezu gradlinig. Da 1 Sktl. (von $1^1/_2$ mm Größe) gleich $5 \cdot 10^{-7}$ mm gemacht und der Ausschlag nach der Multiplikationsmethode vergrößert werden kann, vermag man noch Drucke zwischen 10^{-6} und 10^{-7} mm zu messen, doch ist unter Umständen Störung durch Gasabgabe zu befürchten. Hierbei beträgt die halbe Schwingungsdauer $1^1/_2$ Min.; bei einer Empfindlichkeit von 10^{-6} mm läßt sie sich auf 1 Min. herabsetzen. Bei Wasserstoff ergeben sich bis zu 20% andere Werte.

Berndt.

Die Verflüssigung des Glases.

Von F. Weidert *und* G. Berndt. *Zeitschr. f. techn. Physik 1. S. 121. 1920.*

Glas gehört zu den Körpern, welche keinen wohl ausgeprägten Schmelzpunkt besitzen, sondern bei denen der Übergang von dem vollständig festen zum flüssigen Zustande durch ein ziemlich großes Erweichungsintervall erfolgt. Als untere Grenze desselben kann man die Deformationstemperatur ansehen (s. das vorstehende Referat). Für die obere Grenze fehlte bisher jede Definition. Es wird dafür diejenige Temperatur eingeführt, bei welcher ein Würfel unter bestimmten Versuchsbedingungen seine Form vollständig verloren hat. Hierzu wurden, wie bei der Bestimmung der Entspannungstemperatur, Würfel von im allgemeinen 25 mm Kante benutzt, welche auf eine Spitze gestellt und deren untere Hälfte in Kieselgur eingebettet war. Sie wurden schnell im elektrischen Ofen auf eine bestimmte Temperatur erhitzt, auf dieser $^1/_2$, 2 oder 6 Stunden gehalten und kühlten dann im Ofen in etwa 12 Stunden ab. Bei einer Reihe von im allgemeinen um 20° steigenden Temperaturen wurden die eingetretenen Formänderungen beobachtet. Schließlich

wurde eine Temperatur erreicht, bei welcher die ursprünglichen Kanten und Ecken nur noch durch Darüberfahren mit dem Fingernagel bemerkt werden konnte, während bei einer um 20° höheren Temperatur die neugebildete Oberfläche vollkommen glatt erschien. Zwischen beiden wurde dann die Temperatur interpoliert, bei welcher dieser Zustand zuerst erreicht war; sie wird als Fließtemperatur bezeichnet. Die an einigen Gläsern des Sendlinger Optischen Glaswerkes erhaltenen Werte sind nachstehend aufgeführt, wobei zur Kennzeichnung der Glasart wieder $(n_D - 1)/10\,\nu$ angegeben ist; daneben ist der analoge Jenaer Typus vermerkt. Von der Stückgröße erwies sich die Fließtemperatur als praktisch unabhängig. Unter gegebenen Versuchsverhältnissen hat sich die Fließtemperatur als sehr geeignet zur Charakterisierung der einzelnen Glasarten erwiesen. Streng genommen wäre dazu natürlich die Kurve notwendig, welche seine Zähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur darstellt, deren Bestimmung aber bisher große experimentelle Schwierigkeiten entgegengestanden haben.

Glastypus	Analoger Jenaer Typus	Fließtemperatur in °C für		
		½ Std.	2 Std.	6 Std.
Kron 510/634	0 144	850	815	775
Kron 516/640	0 3882	810	795	780
Flint 549/461	0 378	740	725	685
Barion 573/575	0 211	910	885	860
Barint 580/538	0 722	845	805	785
Barion 590/612	0 2122	845	830	795
Barion 609/589	0 2071	870	835	820
Flint 613/369	0 118	730	695	680
Barion 614/564	0 2994	840	815	800
Barint 626/393	0 748	780	730	685
Flint 649/338	0 102	660	645	630

Berndt.

Ein Mikro-Voltameter.

Von C. T. R. Wilson, *Proc. Cambridge Philos. Soc.* **19.** *Teil VI, S. 345. 1919.*

Das zur Messung sehr kleiner Elektrizitätsmengen bestimmte Voltameter besteht aus einem kleinen Quecksilbertropfen an dem Ende eines Platindrahtes, dessen Größenänderung mikroskopisch beobachtet wird. Es sind damit Elektrizitätsmengen von wenigen Hundert ESE. bis zu 1 Coulomb gemessen. Als Beispiele werden angeführt die Bestimmung der Elektrizitätsmengen bei der Entladung eines Kondensators von 1 Mikrofarad, der auf 1 Volt aufgeladen war, sowie bei der Bewegung eines Magneten durch eine Spule. Wahrscheinlich ist es möglich, das Instrument zur Messung noch kleinerer Elektrizitätsmengen zu verwenden. *Berndt.*

Bekanntmachung.

Vom 1. Januar 1922 ab wird der Teuerungszuschlag auf die Prüfungsgebühren der Abteilung III der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (Wärme und Druck) mit Ausnahme der Fieberthermometer auf 500 % erhöht.

Charlottenburg, den 12. November 1921.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
gez. Warburg.

Erhöhung der Prüfungsgebühren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Der Teuerungszuschlag, welcher auf die Prüfungsgebühren nach der Gebührenordnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt vom 1. Juli 1918 erhoben wird, beträgt ab 1. Dezember 1921:

bei Teil I, Abschnitt Optisches Laboratorium:

Lfd. Nr. 21 (Hefnerlampen)	500 %
„ „ 22 (Elektrische Glühlampen für Lichtmessungen)	500 %
„ „ 24 (Verbrauchte elektrische Energie)	900 %
„ „ 25 (Quarzplatten für saccharimetrische Zwecke)	500 %

Abschnitt Laboratorium für Radioaktivität:

Lfd. Nr. 41 bis 45	300 %

bei Teil II, Elektrizität:

Lfd. Nr. 1 bis 16a (Zeigerinstrumente)	500 %
„ „ 16b und 16c (Zeigerinstrumente mit Meßwandlern)	700 %
„ „ 17 bis 25 (Meßwandler)	700 %
„ „ 26 bis 34 (Elektrizitätszähler) bis 2 kW	300 %
für Zähler bis 25 kW	500 %
„ „ über 25 kW	700 %
Systemprüfungen von Elektrizitätszählern	900 %
„ „ 35 bis 50 und 55 (Induktivitäten, Kapazitäten, Wellenmesser, Widerstände)	400 %
„ „ 51 bis 54 (Nebenschluß und Vorschaltwiderstände)	500 %
„ „ 56 bis 57 (Leitungsmaterialien)	700 %
„ „ 58 (Normalelemente)	400 %
„ „ 59 (Primärelemente mit Ausnahme von Taschenlampenbatterien)	600 %
(Taschenlampenbatterien)	500 %
„ „ 61 bis 85 (Isolations- und Installationsmaterial)	900 %
„ „ 86 (Generatoren, Motoren und Transformatoren)	900 %

bei Teil II, Magnetismus:

Lfd. Nr. 1 bis 11	700 %

Für die durch Aus- und Einpacken der Prüfgegenstände verursachten Kosten wird bei Frachtsendungen eine Gebühr von 2 M. für jede angefangenen 10 kg Bruttogewicht erhoben.

Bei Gegenständen, die für das Ausland bestimmt sind, wird die Gebühr nach der Gebührenordnung ohne Teuerungszuschlag, jedoch in der Währung des betreffenden Landes unter Zugrundelegung der Valuta am 31. Juli 1914 festgestellt und nach dem am Tage der Ausfertigung des Prüfungsscheines an der Berliner Börse notierten Kurs des betreffenden fremden Geldes in Mark umgerechnet. Ergibt sich hiernach ein geringerer Betrag als nach den obigen für das Inland festgesetzten Bestimmungen, so werden letztere angewendet.

Deutsche Firmen, welche für das Ausland bestimmte Gegenstände der Reichsanstalt zur Prüfung einreichen, werden ersucht, dies im Prüfungsantrag zum Ausdruck zu bringen.

Charlottenburg, den 17. November 1921.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
gez. Warburg.

Nachdruck verboten.

Namen- und Sachregister.

Akustik: Üb. d. Einfluß horizont. Temperaturschichtg. d. Seewassers a. d. Reichweite v. Unterwasserschallsignalen, Lichte 32. — Handbuch der Musikinstrumentenkunde, Sachs 158.

Astronomie: Üb. d. Wert extrafokaler Aufnahmen m. parabol. Spiegeln, Prey 156. — Üb. terrestr. Refraktion, Melord 157. — Eine einf. Registriervorrichtg. f. das Zöllnersche Refraktometer, Schiller 187. — Üb. zwei astronomische arabische Instrumente, Frank 193. — Astronomie, Hartmann 311. — Astronomie u. ihre Bedeutung f. d. prakt. Leben, Marcuse 212.

Berndt, G., Kompendium d. Experimentalphysik 158. — Radioaktive Leuchtfarben 160. — Physikal. Wörterb. 278. — s. a. Weidert.

Block, W., Üb. eine graph. Tafel d. Luftdichten 311.

Boas, H., Untersuchg. üb. d. Feinbewegg. an einigen Mikroskopen 299.

Born, Max, Die Relativitätstheorie Einsteins 333.

Börnstein, R., Sichtbare u. unsichtbare Strahlen 312.

Brechung s. Optik.

Chemie: Internationales Handbuch d. Weltwirtschaftschemie 1913/14 bis 1919/20, Dyes 335.

v. Cittert, P. H., Zur Beseitigg. des Astigmatismus beim Gebrauch d. Hohlgitters 116.

Cranz, H., s. Hugershoff.

Demuth, W., Die Materialprüfg. der Isolierstoffe d. Elektrotechnik 128.

Dieterle, R., Ein hochempfindl. astat. Torsionsmagnetometer 89.

Dreher, O., Der „Einheitskompaß" von Breithaupt 304.

Drehspulgalvanometer s. Elektrizität.

Drehwage s. Schwere.

Druck: Ein neues Vakuummanometer, Riegger 360.

Durchgangsinstrumente s. Astronomie.

Dyes, W. A., Internationales Handbuch d. Weltwirtschaftschemie 1913/14 bis 1919/20 335.

Einstein, A., Äther u. Relativitätstheorie 252.

Elektrometer s. Elektrizität.

Elektrizität: I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Vorgänge in der Scheibe eines Induktionszählers u. der Wechselstromkompensator als Hilfsmittel z. deren Erforschung, v. Krukowski 160. — Muß bei ballist. Eichspulen auf die magnet. Schirmwirkg. Rücksicht genommen werden? Greinacher 240. — Messungen an elektr. Maschinen, Krause 280. — Meßgeräte u. Schaltungen für Wechselstrom - Leistungsmessungen, Skirl 280. — II. Vorrichtungen z. Erzeugung v. Elektrizität. — III. Meßinstrumente: Eine Methode z. Messg. d. Kapazität von Goldblatt-Elektroskopen, Muckerjee 31. — Konstante hochohmige Meß- u. Belastungswiderstände, Lilienfeld, Hofmann 276. — Messungen an elektr. Maschinen, Krause 280. — Meßgeräte u. Schaltungen f. Wechselstrom - Leistungsmessungen, Skirl 280. — Eine neue Art v. Widerständen hoher Ohmzahl, Skaupy, Ewest 308. — Ein absolut. Voltmeter f. 250000 Volt Effektivspannung, Palm 309. — Mikrovoltameter Wilson 361. — IV. Beleuchtungsapparate. — V. Allgemeines: Die Materialprüfg. d. Isolierstoffe d. Elektrotechnik, Demuth 128. — VI. Literatur: Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik, Demuth 128. — Radiotelegraph. Praktikum, Rein-Wirtz 251. — Die Nebenstellentechnik, Willers 334. — Funkentelegraphie f. Flugzeuge, Niemann 334. — Einführung i. d. moderne drahtlose Telegraphie u. ihre prakt. Anwendung, Mosler 335.

Elektroskope s. Elektrizität.

Emanationsmeßapparate s. Radioaktivität.

Entfernungsmesser (s. Geodäsie VI).

Erdmagnetismus s. Magnetismus.

Erfle, H., Üb. d. durch ein Drehkeilpaar erzeugte Ablenkg. u. über eine als Kennzeichen f. d. Beibehaltg. d. Hauptschnittes dienende Sinusbedingg. 62. — Üb. d. Unterschied zwischen d. Okularen v. Huyghens u. denen v. Ramsden u. üb. d. Abhängigkeit d. Brennweite solcher Okulare v. der Wellenlänge 63. — Die Entwicklg. d. Sehrohres für Tauchboote 63. — Beiträge z. Geschichte u. z. geometr. Optik d. Umkehrsystems m. veränderlicher Vergrößerung 107.

Ewest, H., s. Skaupy.

Exner, Fr., Einige Versuche u. Bemerkungen z. Farbenlehre. Zur Kenntnis des Purkinjeschen Phänomens 125.

Fajans, K., Radioaktivität u. d. neueste Entwicklg. d. Lehre von den chem. Elementen 64.

Fennel, A., Kreisteilungen u. Kreisteilmaschinen 236.

Fernrohre: Neue Form einer Kupplg. f. Fernrohr-Triebwerke m. unmittelbarem elektromotor. Antrieb, Rheden 86. — Berechng. d. Medial-Fernrohre m. einf. Spiegellinse, Schupmann 212. — Mechan. Einrichtg. u. Gebrauch d. Medial-Fernrohre m. einf. Spiegel, Schupmann 253.

Frank, J., Üb. zwei astronom. arabische Instrumente 193. — s. a. Wiedemann.

Frequenzmesser s. Elektrizität.

Fuß, H., Bamb ergscher Registrier-Theodolit 281.

Galvanometer s. Elektrizität.

Geiger, H., u. W. Makower, Meßmethoden a. d. Gebiet der Radioaktivität 160.

Geodäsie: I. Basismessungen. — II. Astronomisch - geodätische Instrumente. — III. Apparate z. Winkelabstecken: Hensoldts Kreuzvisier 190. — Nivellierstab, Werkmeister 355. — IV. Winkelmeßinstrumente u. Apparate f. Topographie: Der Kreiselkompaß im Schachtbau, Martienssen 191. — Coradis Polarkoordinato-

graph, Staerkle 273. — Ein neuer Distanzmesser f. topograph. Aufnahmen Zeller 278. — Bambergscher Registrier-Theodolit, Fuß 281. — Der „Einheitskompaß" von Breithaupt, Dreher 304. — V. Höhenmeßinstrumente u. ihre Hilfsapparate. — VI. Tachymetrie: Ein neuer Distanzmesser f. topograph. Aufnahmen, Zeller 278. — VII. Allgemeines (s. a. Libellen, Planimetrie, Rechen- u. Zeichenapparate). — VIII. Literatur.

Geschichte: Beiträge z. Geschichte u. zur geometr. Optik d. Umkehrsystems m. veränderl. Vergrößerung, Erfle 107. — Üb. zwei astronom. arabische Instrumente, Frank 193. — Vorrichtgn. z. Teilung v. Kreisen u. Geraden usw. nach Birûnî, Wiedemann, Frank 225. — Beiträge z. Erfindungsgeschichte meteorolog. Instrumente, Hellmann 304. — Die Erfindung d. Augengläser, Greef 333.

Gitter s. Spektroskopie.

Glas: Die Entspannungstemperatur des Glases, Weidert, Berndt 358. — Die Verflüssigung des Glases, Weidert, Berndt 360.

Goos, F., u. P. P. Koch, Üb. eine Neukonstruktion d. registrierenden Mikrophotometers 313.

Grebe, L., Spektroskopie 312.

Greeff, R., Die Erfindung d. Augengläser 333.

Greinacher, H., Muß bei ballist. Eichspulen auf die magnetische Schirmwirk. Rücksicht genommen werden? 240.

Gripenberg, W. S., Spiegelablesg. f. große Ausschläge 63.

Guillaume, Chr. Ed., Ausdehnbarkeit u. Thermoelastizität d. Nickelstahle (die Elinvar-Spiralfeder) 158. — Die Ursache d. Unbeständigkeit der Nickelstähle 277.

Gullstrand, A., Üb. asphär. Flächen in opt. Instrumenten 123.

Gumlich, E., Üb. d. Abhängigkeit d. Temperaturkoeffizienten permanenter Magnete v. deren Gestalt 93.

Haagn, E., Üb. eine neue, selbsttätige Temperaturregelg. f. elektr. Öfen 92.

Haas, A., Einführung i. d. theoret. Physik m. besond. Berücksichtigg. ihrer modernen Probleme 252.

Hager-Mez, Das Mikroskop u. seine Anwendung 160.

v. Hanffstengel, G., Techn. Denken u. Schaffen 278.

Harting, H., Astigmatismus aplanatischer Linsen 219.

Hartmann, J., Astronomie 311.

Hay, A., Sehen u. Messen 333.

Hecht, W., Das Graukeilphotometer im Dienste d. Pflanzenkultur 127.

Hellmann, G., Beiträge z. Erfindungsgeschichte meteorolog. Instrumente 304.

Höhenmessung s. Geodäsie.

Hofmann, W. s. Lilienfeld.

Hugershoff, R., u. H. Cranz, Grundlagen d. Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen 222.

Hyde, E. P., Auszugs Berichte des Nela Research Laboratory 274.

Kalkspat s. Spektroskopie.

Kalorimetrie s. Wärme.

Kapazität s. Elektrizität.

Kathodenstrahlen s. Elektrizität.

Kerber, A., Entwicklg. d. Formeln f. d. Abweichgn. dritter Ordnung nach Ludwig Seidel 289, 324, 337.

Kinematographie: Die Kinematographie, Lehmann 128. — Wissenschaftl. Kinematographie, Liesegang 159. — Die Belichtungsvorgänge u. das Auflösungsvermögen beim Hochfrequenz-Kinematographen, Klughardt 201.

Klughardt, A., Die Belichtungsvorgänge u. das Auflösungsvermögen beim Hochfrequenz-Kinematographen 201.

Koch, P. P., s. Goos.

Kompasse: Der Kreiselkompaß im Schachtbau, Martienssen 191. Der „Einheitskompaß" von Breithaupt, Dreher 304.

Komparatoren s. Maßstäbe u. Längenmessungen.

Kompensatoren s. Elektrizität.

Kondensatoren s. Elektrizität.

Krause, R., Messungen an elektr. Maschinen 280.

Kreiselkompaß s. Kompaß u. Nautik.

Kreisteilungen s. Teilungen.

v. Krukowski, W., Vorgänge i. d. Scheibe eines Induktionszählers u. der Wechselstromkompensator als Hilfsmittel zu deren Erforschung 160.

Lange, M., Üb. eine Methode, d. opt. Abbildungsgleichungen zu prakt. Durchrechnungsformeln umzugestalten 121.

Längenmessungen s. Maßstäbe.

Lehmann, H., Die Kinematographie 128.

Leiss, C., Üb. Spektralapp. u. Monochromatoren f. Untersuchgn. i. sichtbaren u. U.-V.-Gebiet 242.

Lichte, H., Üb. d. Einfluß horizont. Temperaturschichtg. d. Seewassers auf d. Reichweite v. Unterwasserschallsignalen 32.

Liesegang, F. Paul, Wissenschaftl. Kinematographie 159.

Lihotzky, E., Verallgemeinerung d. Abbeschen Sinusbedingg. (als Bedingg. f. d. Verschwinden d. Koma i. d. unmittelbaren Nachbarschaft d. Achse) f. Systeme m. nicht gehobener Längenaberration 60.

Lilienfeld, J. E., u. W. Hofmann, Konstante hochohmige Meß- u. Belastungswiderstände 276.

Linsen s. Optik.

Literatur (Preislisten, Biographien, siehe diese): Kompendium d. Experimentalphysik, Berndt 158. — Handbuch d. Musikinstrumentenkunde, Sachs 158. — Das Mikroskop u. seine Anwendg., Hager-Mez 160. — Radioaktive Leuchtfarben, Berndt 160. — Meßmethoden a. d. Gebiet der Radioaktivität, Geiger, Makower 160. — Einführg. i. d. theoret. Physik m. besond. Berücksichtigg. ihrer modernen Probleme, Haas 252. — Äther u. Relativitätstheorie, Einstein 252. — Auszugs-Berichte des Nela Research Laboratory, Hyde 274. — Physikal. Wörterbuch, Berndt 278. — Techn. Denken u. Schaffen, v. Hanffstengel 278. — Astronomie u. ihre Bedeutung f. d. prakt. Leben, Marcuse 312. — Nautik, Möller 312. — Sichtbare u. unsichtbare Strahlen, Börnstein 312. — Spektroskopie, Grebe 312. — Die Relativitätstheorie Einsteins, Born 333. — Die prakt. Nutzanwendg. d. Prüfg. des Eisens, Preuß 334. — Internationales Handbuch d. Weltwirtschaftschemie, Dyes 335.

Lote s. Geodäsie.

Lüscher, H., Ermittelg. d. Punktlage b. stereophotogrammetr. Aufnahmen m. horizontalen Kamera-Achsen 262.

Mack, K., Eine neue Methode u. ein neues Gerät z. Konstruktion von Perspektiven 28.

Magnetismus u. Erdmagnetismus (s. a. Kompasse): Ein hochempfindl. astat. Torsionsmagnetometer, Dieterle 89. — Üb. d. Abhängigkeit d. Temperaturkoeffizienten permanenter Magnete von deren Gestalt, Gumlich 93. — Der „Einheitskompaß" von Breithaupt, Dreher 304.

Makower, W. s. Geiger.

Marcuse, A., Astronomie u. ihre Bedeutung f. d. prakt. Leben 312.

Mareographen s. Nautik.

Martienssen, O., Der Kreiselkompaß im Schachtbau 191.

Mechanik: Bestimmg. d. Dicke der Ölschicht bei Lagern, Vieweg 157.
Melord, A. R., Üb. terrestr. Refraktion 157.
Meßmaschine s. Maßstäbe u. Längenmessungen.
Metalle u. Metall-Legierungen: Ausdehnbarkeit u. Thermoelastizität d. Nickelstahle (die Elinvar-Spiralfeder), Guillaume 158. — Die Ursache d. Unbeständigkeit d. Nickelstähle, Guillaume 277. — Die prakt. Nutzanwendg. d. Prüfg. d. Eisens, Preuß 334.
Meteorologie (Thermometrie s. diese): I. Barometer, Aneroide. — II. Anemometer (Windmesser). — III. Feuchtigkeitsmesser (Hygrometer, Psychrometer). — IV. Regenmesser. — V. Allgemeines: Beiträge z. Erfindungsgeschichte metereolog. Instrumente, Hellmann 304. — VI. Literatur.
Mikroskopie: Das Mikroskop u. seine Anwendung, Hager-Mez 160. — Untersuchg. üb. d. Feinbewegg. an einigen Mikroskopen, Boas 299.
Moeller, G., Organ. Flüssigkeiten zum Füllen hochgradiger Fabrikthermometer 152.
Moffitt, G. W., Verbesserungen in d. Sphärometrie 28.
Möller, J., Nautik 312.
Monochromatoren s. Spektroskopie.
Mosler, H., Einführung i. d. moderne drahtlose Telegraphie u. ihre prakt. Verwendg. 335.
Muckerjee, A. T., Eine Methode z. Messg. d. Kapazität v. Goldblatt-Elektroskopen 31.

Nautik: Üb. d. Einfluß horizont. Temperaturschichtg. des Seewassers u. d. Reichweite v. Unterwasserschallsignalen, Lichte 32. — Die Entwicklg. d. Sehrohres f. Tauchboote, Erfle 63. — Nautik, Möller 312.
Nickelstahl s. Metalle.
Niemann, E., Funkentelegraphie f. Flugzeuge 334.
Nivellierinstrumente s. Geodäsie.
Normalelemente s. Elektrizität.

Objektive s. Optik.
Optik (s. a. Fernrohre, Interferometrie, Mikroskopie, Ophthalmologie, Photographie, Photometrie, Polarimetrie, Prismen, Spektroskopie, Spiegel): I. Theoretische Untersuchungen und Meßmethoden: Verallgemeinerung d. Abbeschen Sinusbedingung (als Bedingung für das Verschwinden der Koma in der unmittelbaren Nachbarschaft der Achse) für Systeme m. nicht gehobener Längenaberration, Lihotzky 60. — Isoplanatische Korrektion u. Proportionalitätsbedingung (z. Bedeutg. d. Abbeschen Sinusbedingung bei sphärisch nicht korrigierten Systemen endlicher Öffnung, Staeble 60. — Üb. d. durch ein Drehkeilpaar erzeugte Ablenkg. u. über eine als Kennzeichen f. d. Beibehaltg. d. Hauptschnittes dienende Sinusbedingg., Erfle 62. — Üb. d. Unterschied zwischen d. Okularen v. Huyghens u. denen v. Ramsden u. üb. d. Abhängigkeit d. Brennweite solcher Okulare v. d. Wellenlänge, Erfle 63. — Das Grundgesetz f. d. treue photograph. Wiedergabe v. Kontrasten, Renwick 92. — Beiträge z. Geschichte u. zur geometr. Optik des Umkehrsystems m. veränderlicher Vergrößerung, Erfle 107. — Z. Theorie d. Polarisationsprismen. VI. Schnittwinkel u. Gesichtsfelder f. Prismen, bei denen d. Kristallachse i. Hauptschnitt liegt, Schulz 118. — Üb. eine Methode, die opt. Abbildungsgleichgn. zu prakt. Durchrechnungsformeln umzugestalten, Lange 121. — Üb. asphär. Flächen i. opt. Instrumenten, Gullstrand 123. — Einige Versuche u. Bemerkgn. z. Farbenlehre. Zur Kenntnis des Purkinjeschen Phänomens, Exner 125. — Eine Methode z. Prüfg. v. photograph. Objektiven durch streifende Abbildg., Wetthauer 148. — Üb. d. Wert extrafokaler Aufnahmen m. parabol. Spiegeln, Prey 156. — Berechng. d. Medial-Fernrohre m. einfacher Spiegellinse, Schupmann 212. — Astigmatismus aplanatischer Linsen, Harting 219. — Zwölf od. neun Fehler fünfter Ordnung bei Linsenfolgen m. Rotationsflächen, die zu einer Achse symmetrisch liegen? Sonnefeld 259. — Die Zerstreuung d. Lichts in den brechenden Medien des Auges, Ramann 274. — *Geometrical Investigation of the Formation of Images in Optical Instruments*, v. Rohr 279. — Entwicklg. d. Formeln f. d. Abweichgn. dritter Ordnung nach Ludwig Seidel, Kerber 289, 324, 337. — Sehen u. Messen, Hay 333. — II. Apparate: Verbesserungen i. d. Sphärometrie, Moffitt 28. — Die Entwicklg. d. Sehrohres für Tauchboote, Erfle 63. — Spiegelablesg. f. große Ausschläge, Gripenberg 63. — Zur Theorie d. Polarisationsprismen VII: Die Bestimmung d. Gesichtsfeldgröße u. ihrer Schwankungen, Schulz 144. — Die binokularen Instrumente, v. Rohr 158. — Apparat z. Bestimmung d. sphär. u. d. chromatischen Aberration von Objektiven nach der Foucaultschen Messerschneidenmethode, Wetthauer 184. — Eine einfache Registriervorrichtg. für d. Zöllnersche Photometer, Schiller 187. — Üb. Spektralapp. u. Monochromatoren f. Untersuchungen i. sichtbaren u. U.-V.-Gebiet, Leiss 242. — Mechan. Einrichtg. u. Gebrauch d. Medial-Fernrohre m. einfachem Spiegel, Schupmann 253. — Untersuchgn. üb. d. Feinbewegg. an einigen Mikroskopen, Boas 299. — III. Literatur: Die binokularen Instrumente, v. Rohr 158. — *Geometrical Investigation of the Formation of Images in Optical Instruments*, v. Rohr 279. — Sehen u. Messen, Hay 333.

Palm, A., Ein absolut. Voltmeter f. 250000 Volt Effektivspannung 309.
Permeabilität s. Magnetismus.
Photographie: Das Grundgesetz f. d. treue photograph. Wiedergabe von Kontrasten, Renwick 92. — Eine Methode z. Prüfg. von photograph. Objektiven durch streifende Abbildg., Wetthauer 148.
Photogrammetrie: Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph u. neue Vorschläge f. seine weitere Ausgestaltung, Sander 1, 33, 65. — Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen, Hugershoff, Cranz 222. — Üb. Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen u. die ihr dienenden Instrumente, Pulfrich 224. — Ermittelg. d. Punktlage bei stereophotogrammetr. Aufnahmen m. horizontalen Kamera-Achsen, Lüscher 262. — Üb. einige Verbesserungen d. Kartierungsverfahrens bei stereophotogrammetr. Arbeiten, Pulfrich 348.
Photometrie: Eine neue Vorrichtg. z. Farbenausgleich bei photometr. Messungen, v. Voss 29. — Das Graukeilphotometer i. Dienste d. Pflanzenkultur, Hecht 127. — Eine einfache Registriervorrichtg. f. das Zöllnersche Photometer, Schiller 187. — Raumwinkel- u. Lichtstromkugel nach Teichmüller u. neuere Ausführungsformen 305. — Üb. eine Neukonstruktion d. registrierenden Mikrophotometers, Goos, Koch 313.
Physiologie: Die Zerstreuung d. Lichtes in den brechenden Medien des Auges, Ramann 274.

Planimetrie: Der „Autoredukteur" von Leemann-Kern 189. — Neuerung an Planimetern 358.
Platinthermometer s. Thermometrie.
Polarimetrie: Die Polarisationsapparate u. ihre Verwendg., Schulz 64. — Zur Theorie d. Polarisationsprismen. VI. Schnittwinkel u. Gesichtsfelder für Prismen, bei denen die Kristallachse im Hauptschnitt liegt, Schulz 118. — Zur Theorie d. Polarisationsprismen VII: Die Bestimmung der Gesichtsfeldgröße u. ihrer Schwankungen, Schulz 144.
Preuß, Dr. Ing., Die prakt. Nutzanwendg. d. Prüfg. d. Eisens 334.
Prey, A., Üb. d. Wert extrafokaler Aufnahmen m. parabol. Spiegeln 156.
Prismen: Üb. d. durch ein Drehkeilpaar erzeugte Ablenkg. u. über eine als Kennzeichen f. d. Beibehaltg. d. Hauptschnittes dienende Sinusbedingg., Erfle 62. — Zur Theorie d. Polarisationsprismen. VI. Schnittwinkel u. Gesichtsfelder für Prismen, bei denen die Kristallachse i. Hauptschnitt liegt, Schulz 118.
Projektion s. Optik.
Pulfrich, C., Üb. Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen u. die ihr dienenden Instrumente 224. — Üb. einige Verbesserungen d. Kartierungsverfahrens bei stereophotogrammetrischen Arboiten 348.
Pyrometer s. Thermometrie.

Quadrantelektrometer s. Elektrizität.
Quarzprismen s. Prismen.

Radioaktivität: Radioaktivität u. d. neueste Entwicklung d. Lehre v. d. chem. Elementen, Fajans 64. — Radioaktive Leuchtfarben, Berndt 160. — Meßmethoden a. d. Gebiet d. Radioaktivität, Geiger, Makower 160.
Ramann, C. V., Die Zerstreuung d. Lichtes in den brechenden Medien des Auges 274.
Registrierapparate: Üb. eine Neukonstruktion d. registrierenden Mikrophotometers, Goos, Koch 313.
Reflektoren s. Astronomie.
Regulatoren: Üb. eine neue, selbsttätige Temperaturregelg. f. elektr. Öfen, Haagn 92.
Reichsanstalt, Physikalisch-Technische: Tätigkeit d. Phys.-Techn. Reichsanstalt i. J. 1920 97, 129, 161. — Erhöhung d. Prüfungsgebühren d. Phys.-Techn. Reichsanstalt 96, 361, 362. — Eine Methode z. Prüfg. von photograph. Objektiven durch streifende Abbildg., Wetthauer 148. — Organ. Flüssigkeiten zum Füllen hochgradiger Fabrikthermometer, Moeller 152. — Bekanntmachung 192, 280, 361,
Rein-Wirtz, Radiotelegraph. Praktikum 251.
Renwick, F. F., Das Grundgesetz f. d. treue photograph. Wiedergabe von Kontrasten 92.
Rheden, J., Neue Form einer Kupplung f. Fernrohr-Triebwerke m. unmittelbarem elektromotor. Antrieb 86.
Riegger, H., Ein neues Vakuummanometer 360.
v. Rohr, M., Die binokularen Instrumente 158. — *Geometrical Investigation of the Formation of Images in Optical Instruments* 279.

Sachs, C., Handbuch der Musikinstrumente 158.
Sander, W., Der v. Orel-Zeissische Stereoautograph u. neue Vorschläge f. seine weitere Ausgestaltung 1, 33, 65.
Schall s. Akustik.
Schiller, K., Eine einfache Registriervorrichtg. f. das Zöllnersche Photometer 187.
Schmelzpunkt s. Wärme.
Schulz, H., Die Polarisationsapparate u. ihre Verwendg. 64. — Zur Theorie d. Polarisationsprismen. VI. Schnittwinkel u. Gesichtsfelder f. Prismen, bei denen die Kristallachse im Hauptschnitt liegt 118. — Zur Theorie d. Polarisationsprismen. VII. Die Bestimmung d. Gesichtsfeldgröße u. ihrer Schwankungen 144.
Schupmann, L., Berechnung d. Medial-Fernrohre m. einfacher Spiegellinse 212. — Mechan. Einrichtg. u. Gebrauch d. Medial-Fernrohre m. einf. Spiegel 253.
Schumann, R., Üb. Messungen an einem Zwei-Pendel-Apparat 352.
Schwere: Die photogr. registr. Eötvössche Torsionswage d. Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau, Schweydar 175. — Üb. Messungen an einem Zwei-Pendel-Apparat, Schumann 352.
Schweydar, W., Die photogr. registr. Eötvössche Tersionswage der Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau 175.
Selbstinduktion s. Elektrizität.
Skaupy, F., u. H. Ewest, Eine neue Art v. Widerständen hoher Ohmzahl 308.
Skirl, W., Meßgeräte u. Schaltungen f. Wechselstrom-Leistungsmessungen 280.
Sonnefeld, A., Zwölf oder neun Fehler fünfter Ordnung bei Linsenfolgen m. Rotationsflächen, die zu einer Achse symmetrisch liegen? 259.
Spektroskopie: Zur Beseitigg. d. Astigmatismus beim Gebrauch d. Hohlgitters, van Cittert 116. — Üb. Spektralapp. u. Monochromatoren f. Untersuchgn. i. sichtbaren u. U.-V.-Gebiet, Leiss 242. — Spektroskopie, Grebe 312.
Spannungsmesser s. Elektrizität.
Spezifisches Gewicht: Üb. eine graph. Tafel d. Luftdichten, Block 311.
Sphärometer s. Optik u. Maßstäbe.
Spiegel: Üb. d. Wert extrafokaler Aufnahmen m. parabol. Spiegeln, Prey 156.
Staeble, F., Isoplanatische Korrektion u. Proportionalitäts-Bedingung (z. Bedeutung d. Abbeschen Sinusbedingung bei sphärisch nicht korrigierten Systemen endlicher Öffnung) 60.
Stangenplanimeter s. Planimetrie.
Staerkle, A., Coradis Polarkoordinatograph 273.

Tachymeter s. Geodäsie.
Teichmüller, Raumwinkel- u. Lichtstromkugel u. neuere Ausführungsformen 305.
Teilungen: Vorrichtgn. z. Teilung von Kreisen u. Geraden usw. nach Birûnî, Wiedemann, Frank 225. — Kreisteilungen u. Kreisteilmaschinen, Fennel 236.
Telemeter s. Geodäsie VI.
Theodolit s. Geodäsie.
Thermoelemente s. Thermometrie.
Thermometrie: Organ. Flüssigkeiten zum Füllen hochgradiger Fabrikthermometer, Moeller 152.
Transformatoren s. Elektrizität.
Triebwerke: Neue Form einer Kupplung f. Fernrohr-Triebwerke m. unmittelbarem elektromotor. Antrieb, Rheden 86.

Vieweg, V., Bestimmg. d. Dicke der Ölschicht bei Lagern 157.
v. Voss, Eine neue Vorrichtg. z. Farbenausgleich bei photometr. Messungen 29.

Wärme (Thermometrie s. diese): I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden

— II. Apparate: Üb. eine neue, selbsttätige Temperaturregelung f. elektr. Öfen, Haagn 92. — Organ. Flüssigkeiten z. Füllen hochgradiger Fabrikthermometer, Moeller 152. — III. Literatur.
Wechselstrom s. Elektrizität.
Weidert, F. u. G. Berndt, Die Entspannungstemperatur des Glases 358. — Die Verflüssigung des Glases 360.
Werkmeister, P., Nivellierstab 355.
Wetthauer, A., Eine Methode z. Prüfg. v. photograph. Objektiven durch streifende Abbildg. 148. — Apparat z. Bestimmg. d. sphär. u. der chromat. Aberration v. Objektiven nach der Foucaultschen Messerschneidemethode 184.
Wiedemann, E., u. Josef Frank, Vorrichtgn. z. Teilung v. Kreisen u. Geraden usw. nach Bîrûnî 225.
Willers, H. B., Die Nebenstellentechnik 334.
Wilson, C. T. R., Ein Mikrovoltameter 361.
Zeichenapparate: Eine neue Methode u. ein neues Gerät z. Konstruktion v. Perspektiven, Mack 28. — Der „Autoredukteur" von Leemann-Kern 189. — Coradis Polarkoordinatograph, Staerkle 273. — Neuerung an Planimetern 358.
Zeller, M., Ein neuer Distanzmesser f. topograph. Aufnahmen 278.

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1921.

Name	Wohnort	Name	Wohnort
Dr. Alberti	Charlottenburg	Dr. A. König (*A. K.*)	Jena
Prof. Dr. G. W. Berndt	Friedenau	Prof. Dr. D. h. c. H. Krüss	Hamburg
Dr. Boegehold	Jena	Prof. Dr. E. Liebenthal (*E. Lb.*)	Charlottenburg
Dr. H. Erfle	Jena	Dr.-Ing. H. Lüscher	München
Prof. Dr. Giebe	Charlottenburg	Prof. Dr. M. v. Rohr	Jena
Prof. Dr. F. Göpel (*G.*)	Charlottenburg	Dr.-Ing. Sander	Jena
Dr. E. Groschuff †	Charlottenburg	Prof. Dr. O. Schönrock (*Schck.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. Gumlich	Charlottenburg	Dr. Sonnefeld	Jena
Prof. Dr. E. v. Hammer (*H.*)	Stuttgart	Dipl.-Ing. V. Vieweg (*Vg.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. Henning	Charlottenburg.	Dr. Werner (*Wr.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. O. Knopf	Jena		

Fehlerberichtigung.

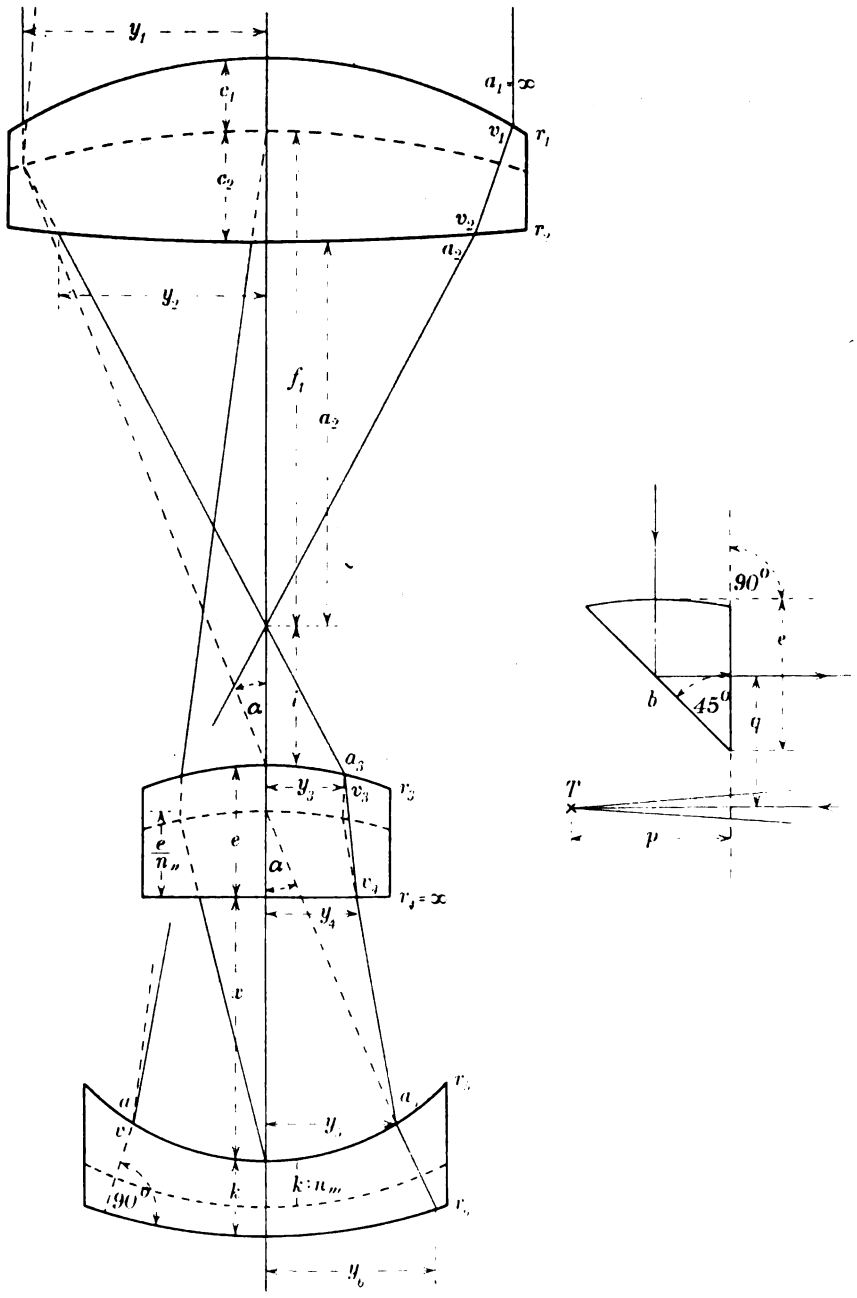
S. 105. 12. Zeile von oben lies Spiegelspektrometer statt piegelspektrometer.

S. 112. Es muß in Gl. 13) der Faktor 2 wegfallen, so daß also gemäß der Anweisung, die in der ersten Zeile von S. 112 gegeben wurde, die Formel für s_2' lautet:

$$s_2' = +f_2 - f_2 V \cdot \frac{2(f_1+f_2) - A - w}{2(f_1+f_2 V)}.$$

S. 112. In der auf 13) folgenden Gleichung ist bei dem letzten Bruch der Faktor $(f_1+f_2 V)$, der nachher gegen einen Teil des Nenners wegfällt, einzufügen.

S. 212, beifolgende Figur ist dorthin zu ergänzen.



S. 274, lies in der Überschrift des ersten Referates Die Zerstreuung des Lichtes in den brechenden Medien des Auges statt dem brechenden Medium des Auges.

S. 299. 11. Zeile von oben fehlt die Nummer der Gleichung, nämlich 23).

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

[6128]

Telefonruf
129

SARTORIUS-WERKE
A. G.
GÖTTINGEN

Telegr.-Adresse:
Sartoriuswerke.

Abteilung I.

Analysen- u. Präzisions-Wagen für chemische und technische Zwecke. / Gewichte in allen Ausführungen.

Abteilung II.

Wärmekästen für bakteriologische Zwecke.

Abteilung III.

Mikrotome und Nebenapparate.
Gefrier- und Gehirnmikrotome.

Abteilung IV.

Geodätische u. astronomische Instrumente.

Preisliste bei Angabe der betreffenden Abteilung kostenfrei. P. 48. [6133]

Sendlinger optische Glaswerke, G. m. b. H.

ZEHLENDORF (Wannseebahn)

Optische Gläser

Technische Spezialgläser

Kondensoren aus hitzebeständigem Ignalglas und optischem Kronglas [6176]

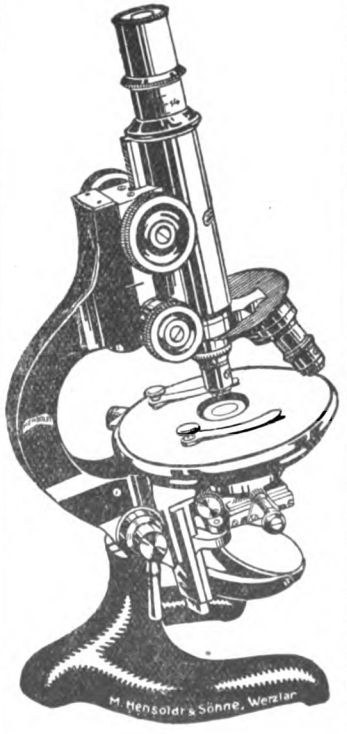
Wanschaff-Instrumente

Erstklassige Erzeugnisse

Wem an Prima-Kreisteilungen gelegen, bestelle nur Wanschaff-Instrumente zur Winkelmessung I. Ordnung für Astronomie, Geodäsie, Physik und Nautik

Hermann Wanschaff, Berlin SO 26,

Elisabeth-Ufer 1 [6182]



MIKROSKOPE

in jeder Ausführung

Taschen-Mikroskop

(Tami)

für alle Arbeiten in Biologie, Trichinenschau
für Schulen, Institute, Sammler

Fernrohre

für alle Zwecke der Geodäsie, Astronomie u. Physik

Feldstecher mit Hensoldtprismen *(Deutsches Reichspatent)*

Feldstecher mit Porroprismen

Objektive, Okulare, Prismen, Lupen, Neue Winkelprismen

HENSOLDT WETZLAR [6174]

Zweigstelle: BERLIN W 50, Kurfürstendamm 240

EINSTEIN-LITERATUR

aus dem Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen. Von **B. Riemann.** Neu herausgegeben und erläutert von H. Weyl in Zürich. Zweite Auflage. 1921. Preis M. 12.—

Geometrie und Erfahrung. Von **Albert Einstein.** Erweiterte Fassung des Festvortrages, gehalten an der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921. Mit 2 Textabbildungen. 1921. Preis M. 6.80

Äther und Relativitätstheorie. Von **Albert Einstein.** Rede, gehalten an der Reichs-Universität zu Leiden. 1920. Preis M. 2.80*

Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik. Zur Einführung in das Verständnis der Relativitäts- und Gravitationstheorie. Von **Moritz Schlick.** Vierte Auflage in Vorbereitung.

Raum - Zeit - Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie. Von **Hermann Weyl.** Vierte, erweiterte Auflage. Mit 15 Textfiguren. 1921. Preis M. 48.—

Das Wesen des Lichts. Vortrag, gehalten in der Hauptversammlung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft am 28. Oktober 1919. Von Dr. **Max Planck,** Professor der theoretischen Physik an der Universität Berlin. Zweite, unveränderte Auflage. 1920. Preis M. 3.60*

Raum und Zeit im Lichte der speziellen Relativitätstheorie. Versuch eines synthetischen Aufbaus der speziellen Relativitätstheorie. Von Dr. **Clemens von Horvath,** Privatdozent für Physik an der Universität Kasan. Mit 8 Textabbildungen und einem Bildnis. Preis M. 12.—

Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Von **Erwin Freundlich.** Mit einem Vorwort von Albert Einstein. Vierte, erweiterte und verbesserte Auflage. 1920. Preis M. 10.—

Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen. Elementar dargestellt von **Max Born.** Zweite, umgearbeitete Auflage. Mit 133 Textabbildungen. („Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher", herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften", Band III). 1921. Preis M. 39.—; gebunden M. 52.— Vorzugspreis für die Abonnenten der „Naturwissenschaften" Preis M. 35.—; gebunden M. 48.—

Die Grundlagen der Relativitätstheorie. Populärwissenschaftlich dargestellt von Dr. **Rudolf Lämmel,** Zürich-Meilen. Mit 32 Textfiguren. 1921. Preis M. 14.—

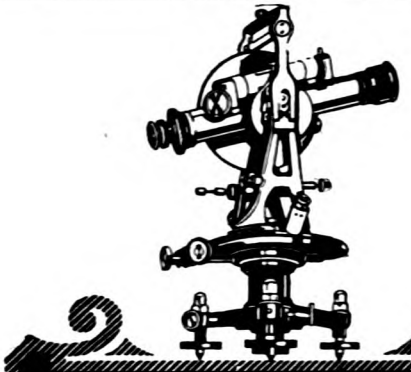
Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori. Von **Hans Reichenbach.** 1920. Preis M. 14.—*

Allgemeine Erkenntnislehre. Von **Moritz Schlick,** Rostock. („Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher", herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften", Band I). 1918. Preis M. 18.—*; gebunden M. 20.40* Vorzugspreis für die Abonnenten der „Naturwissenschaften" Preis M. 14 40*; gebunden M. 16.80*

Hermann v. Helmholtz' Schriften zur Erkenntnistheorie. Herausgegeben und erläutert von **Paul Hertz** in Göttingen und **Moritz Schlick** in Rostock. 1921. Preis M. 45.—; in Ganzleinen gebunden M. 54.—

Die Idee der Relativitätstheorie. Von Dr. **H. Thirring,** a. o. Professor der theoretischen Physik an der Universität Wien. Mit 7 Textabbildungen. Preis M. 24.—

* Hierzu Teuerungszuschlägs



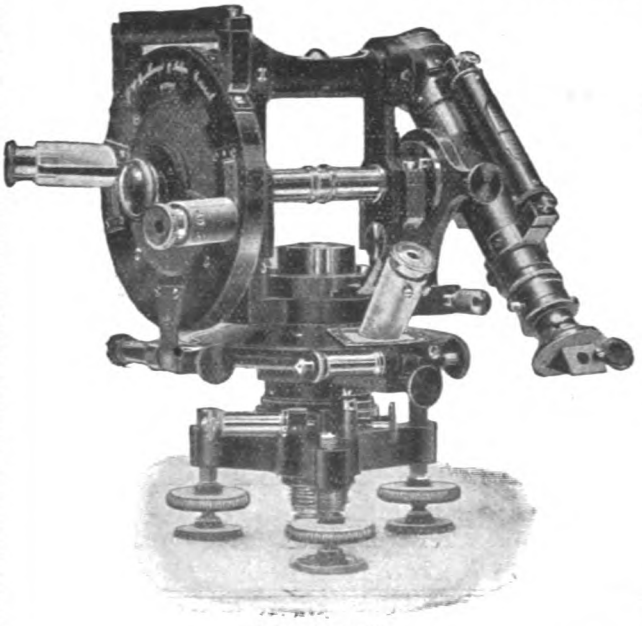
HAHN·GOERZ

THEODOLITE · NIVELLIERINSTRUMENTE
WINKELPRISMEN

Fordern Sie Prospekte

AKTIENGESELLSCHAFT HAHN
FÜR OPTIK UND MECHANIK · CASSEL

F. W. Breithaupt & Sohn
CASSEL
Gegründet 1762



Reise-Theodolit

Geodätische
und
astronomische Instrumente
—
Mikroskop-Theodolite
—
Tachymeter
—
Nonien-Theodolite
—
Fein-Nivellierinstrumente
—
Bussolen

[6159]

Kataloge kostenlos

MODELL DG 725 MIT GEWINDESCHNEIDEINRICHTUNG

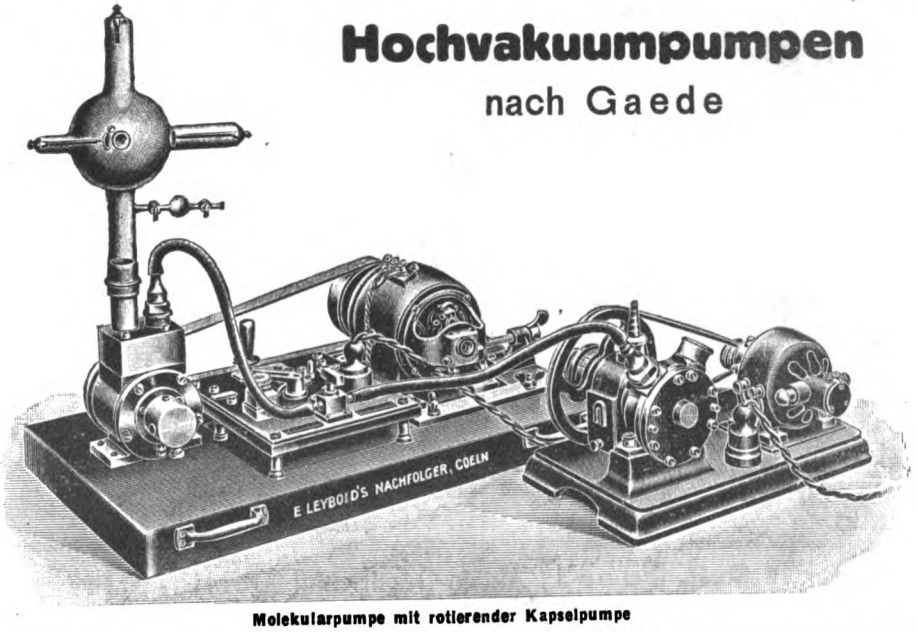
E. Leybold's Nachfolger, Cöln a. Rh.

Zweigniederlassung: **BERLIN NW 7,** Dorotheenstraße 53

Physikalische Apparate für Unterricht u. Forschung

Hochvakuumpumpen

nach Gaede



Molekularpumpe mit rotierender Kapselpumpe [6146]

BAMBERG

ASTRONOMISCHE INSTRUMENTE

Passage - Instrumente

✱

Refraktoren
Reflektoren

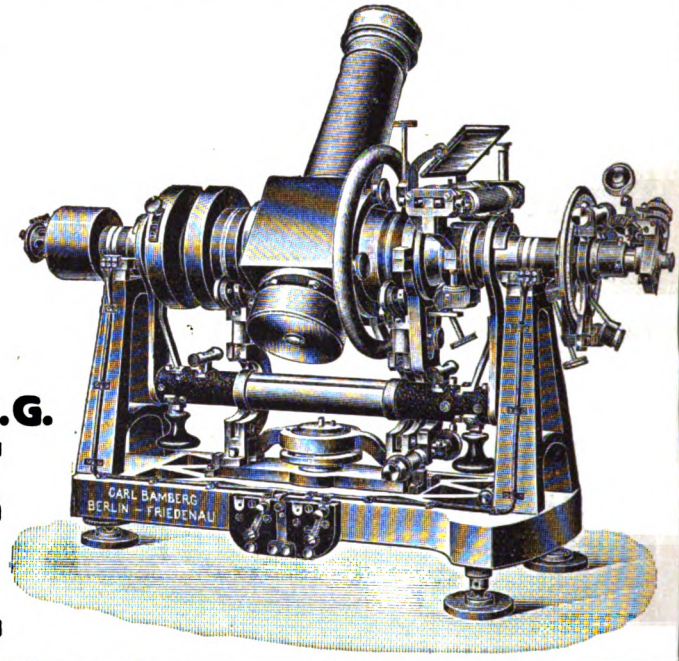
✱

Spektrographen
Photometer

✱

Meßapparate

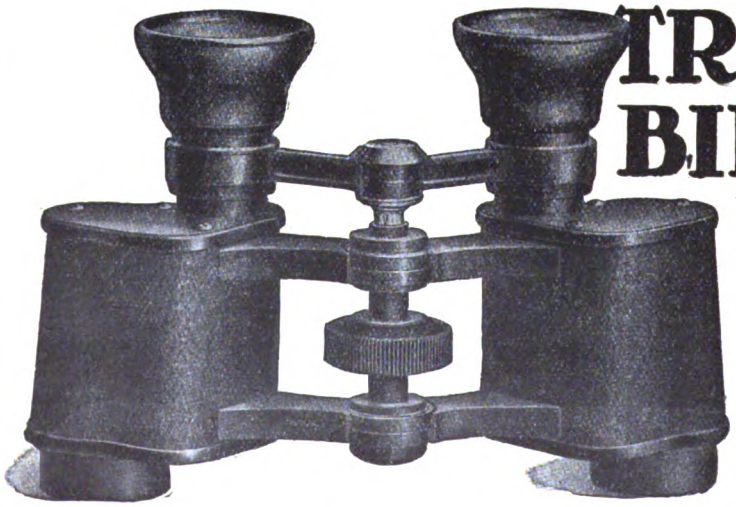
✱



ASKANIAWERKE A.G.
VORM. ZENTRALWERKSTATT DESSAU
UND
CARL BAMBERG
BERLIN-FRIEDENAU
KAISER-ALLEE 87—88
WIEN VII **ROTTERDAM**

GOERZ

TRIËDER BINOCLE



für
Reise, Sport, Jagd
Vergrößerungen 6-, 8-, 10- u. 12fach

Theaterglas „Goerz Fago“
Vergrößerung $3^1/_2$fach

Zu beziehen durch die optisch. Geschäfte
Katalog kostenfrei

Optische Anstalt **C. P. Goerz,** Aktien-Gesellschaft, Berlin-Friedenau [6173]

Voigtländer

PRAZISIONS-INSTRUMENTE

in anerkannt vorzüglicher Ausführung

Photographische Objektive und Kameras

*

Prismen-, Einzel- und Doppelfernrohre

*

Prismen-Standfernrohre

Menisken

Astronomische Standfernrohre

*

Theater- und Reisegläser

*

Birschgläser

*

Zielfernrohre

*

Mikroskope

*

Lupen

VOIGTLÄNDER & SOHN A.-G. / OPTISCHE WERKE

:-: Druckschriften kostenlos :-: **BRAUNSCHWEIG** Zu haben in allen guten Fachgeschäften

MERZ

Astronomische Instrumente.

Fernrohre

für

Sternwarten,

Lehranstalten

und

Liebhaber-Astronomen.

Preislisten kostenlos.

G. und S. MERZ

Optisch-mechanische Präzisions-Werkstätten

vorm. Utzschneider & Fraunhofer

MÜNCHEN-PASING [6137]

Instrumente

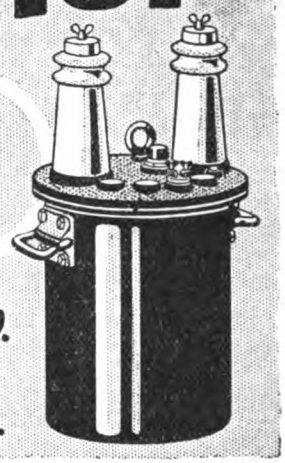
für Physik, Optik u. Kristallographie, Meteorologie, Berg- und Hüttenbetriebe und Hydrotechnik

liefert [6169]

R. Fuess / Berlin-Steglitz

Fernsprecher: Amt Steglitz 65 und 729

Präzisions~ Messwandler



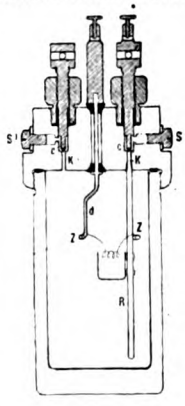
Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk Siemensstadt bei Berlin.

Es wird gebeten, bei Anfragen auf diese Zeitschrift Bezug zu nehmen.

Winkelprismen
Universalinstrument
Bitte neue Preisliste anfordern
J. D. MÖLLER
WEDEL bei HAMBURG
Gegründet 1864
[6170]

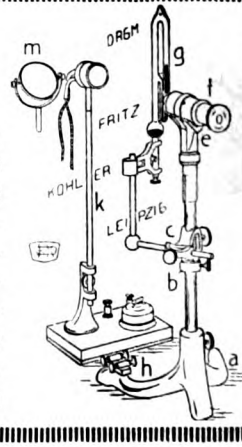
WALTHER PETZOLDT
Werkstätten für Präcisionsmechanik
Potsdam, Lennéstraße 44
Herstellung wissenschaftl. Original-Instrumente
Astronomie
Geodäsie
Erdmagnetismus
Kinematographie
insbesondere
Meßinstrumente mit
Registrierwerk und
Typendruckvorrichtung
[6175]

Patentanwalt A. Kuhn Dipl. Ing. BERLIN SW 61 Gitschinerstr. 106
[6131]



Fritz Köhler Universitäts-Mechaniker Leipzig
Apparative Einrichtung v. Laboratorien für Physico-Elektro-Photo-Bio-Chemie Windscheid 33

Apparate zur Bestimmung der EMK, der Leitfähigkeit und des Molekulargewichtes. Kapillar-Quadranten-Elektro-Galvano-Meter. Meßbrücken. Präzisionswiderstände. Kalori-Kolori-Viskosi-Refracto-Spectro-Meter. Lichtquellen. Licht-Thermostate. Polarisations-, Elektro-Analyt-Apparate, Thermostaten von —150÷350° C. Kleinmotoren und Übertragungen. Farben-Analyse-Synthese-Apparate. [6177]

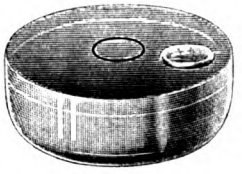


Dr. Steeg & Reuter

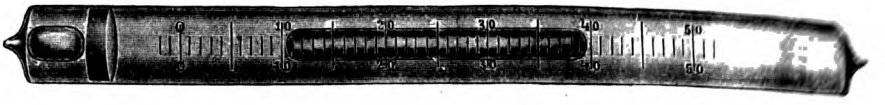
Kristalloptik

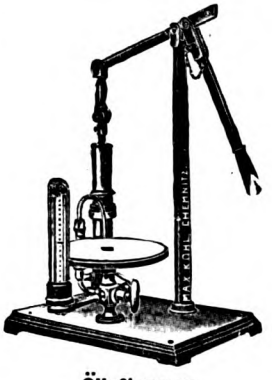
Polarisations-Prismen
Spektralprismen aus Quarz

A. Pessler & Sohn, Freiberg i. Sachsen



Ätherlibellen,
Kammerlibellen, Reversionsl...,
für alle wissenschaftliche Zwecke
Glaskörper für Dosenlibellen





Ölluftpumpe

Max Kohl A.G. Chemnitz

Seit 1876 bestehend. Voll eingezahltes Kapital M. 2400000

Physikalische Apparate
Einrichtung von Hörsälen
Experimentier-Schalttafeln
Funkeninduktoren

[5045¹]

Listen, Kostenanschläge, Beschreibungen usw. kostenfrei

H R W

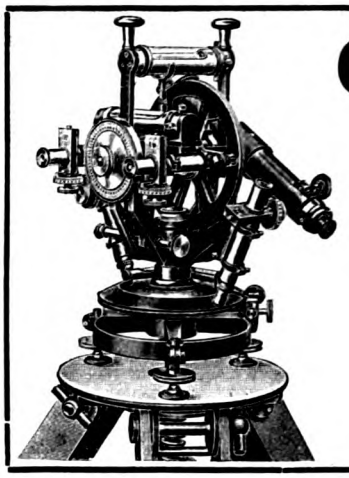
Gegründet 1791

[6143]

HILDEBRAND

Präzisions-Instrumente
für alle Zweige des Vermessungswesens

MAX HILDEBRAND früher August Lingke & Co. G. m. b. H.
FREIBERG-SACHSEN 50



GUSTAV HEYDE G.m. b. H.

DRESDEN-N. 23

GHD

Universale Theodolite
Nivelliere

6139]

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Vor kurzem erschien:

Das praktische Jahr in der Maschinen- und Elektromaschinenfabrik

Ein Leitfaden für den Beginn der Ausbildung zum Ingenieur

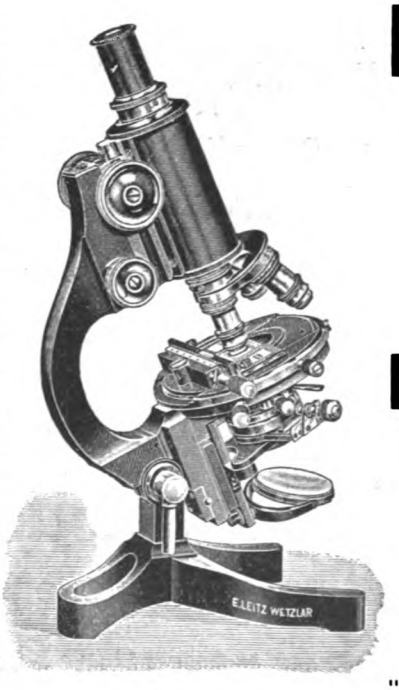
von

Dipl.-Ing. **F. zur Nedden**

Überarbeitet und neu herausgegeben auf Veranlassung und unter Mitwirkung des **Deutschen Ausschusses für Technisches Schulwesen**

Mit 6 Textabbildungen

Gebunden Preis M. 48.—



Ernst Leitz, Wetzlar,

Optische Werke

Zweiggeschäft:

BERLIN NW

Luisenstraße 45

Mikroskope für alle Arten von Untersuchungen

Mikroskopische Nebenapparate,
Mikrophotographische Apparate,
Mikrotome, Projektionsapparate,
Polarisations-Mikroskope,
Prismenfernrohre

[6135]

Man verlange Druckschrift: Mikro 241

FENNEL CASSEL

NIVELLIER-JNSTRUMENTE
NONIEN-THEODOLITE
MIKROSKOP-THEODOLITE
TACHYMETER
LÄNGENMASSE

KATALOG UNENTGELTLICH

OFS

OTTO FENNEL SÖHNE
CASSEL, KÖNIGSTOR 16

[6134]

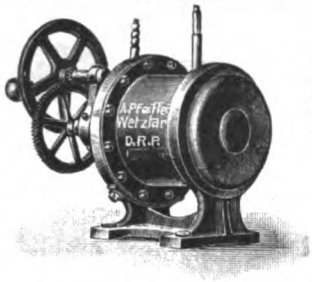
Hans Heele, Werkstätten für Präzisions-Optik u. Mechanik, **Berlin O. 34**
Zorndorfer Straße 50 (früher Grüner Weg 104) [6168]

Spektrometer, Spektral-Photometer, Mikro-Photometer, Interferometer, Quarz-Spektrographen, Uviol-Spektrographen, Monochromatoren, Polarisationsapparate, Kathetometer, Ausmeßapparate für Spektren. Komparatoren. Triebwerke jeder Art; Epidiaskope, Universal-Projektionsapparate u. a. m.

Arthur Pfeiffer, Wetzlar. Gegründet 1890.

Fabrik physikalischer, chemischer und technischer Apparate.

[6153]



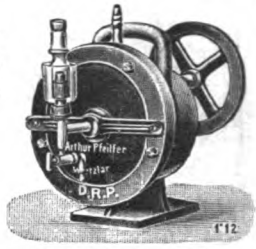
Rotierende Quecksilber-Hochvacuumpumpe System Pfeiffer D. R. P.

Spezialfabrik für Hochvacuumpumpen

zu wissenschaftlichen und technischen Zwecken

Alle Arten Luftpumpen
Kolben-Ölluftpumpen
Rotierende Ölluftpumpen

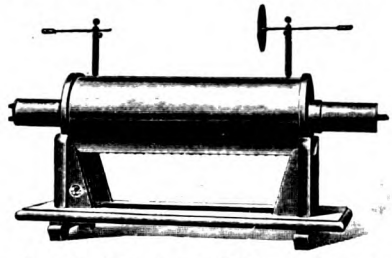
Rotierende Quecksilberluftpumpen
für Betrieb und Laboratorium



Rotierende Quecksilber-Hochvacuumpumpe System Gaede D. R. P.

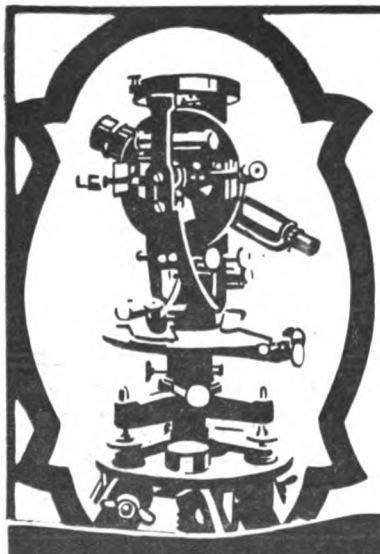
Funkeninduktoren bis 1000 m/m Funkenlänge

Normal-Typen
von 6—1000 m/m Funkenlänge mit Unterbrechern aller Art.



Spezial-Funken-Induktoren für technische und wissenschaftliche Zwecke.

Listen kostenlos von Abt. „C“ verlangen.



VOLLENDETSTE PRÄZISION
BESTE OPTIK

ERTEL

NIVELLIER-INSTRUMENTE, THEODOLITE SOWIE SÄMTLICHE INSTRUMENTE u. ZUBEHÖR FÜR DAS GESAMTE VERMESSUNGSWESEN

ERTEL-WERKE A.G. für Feinmechanik
MÜNCHEN, BARTHSTR. 8.
GEGR. 1812

[6142]

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: A. Schneider, Berlin N 54.

BOUND
AUG 26 192
UNIV. OF MICH.
LIBRARY